



**Ana Bárbara  
Coelho Leite**

**Gestão da água na *Revigrés***





**Ana Bárbara  
Coelho Leite**

## **Gestão da água na *Revigrés***

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Maria Helena Nadais, Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.



Este trabalho é dedicado à Susana  
Gonçalves, pela sua força e coragem de  
enfrentar a vida, e por ter estado sempre  
presente nos meus pensamentos na  
elaboração deste relatório.



## **o júri**

presidente

Professora Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda

Professora Catedrática do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

orientadora

Professora Doutora Maria Helena Gomes de Almeida Gonçalves Nadais

Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

arguente

Professora Doutora Maria Cristina de Carvalho Silva Fernandes

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Química do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa





## agradecimentos

A possibilidade de realização de estágio curricular proporciona a aquisição de competências a nível industrial que certamente serão benéficas para o futuro profissional. E, embora este trabalho seja realizado de forma individual, ele nunca seria realizado sem a ajuda e disponibilidade de diversas pessoas.

Como tal, começo por agradecer a todos os funcionários da empresa que me acolheu, a *Revigrés*, pela ajuda e disponibilidade dada a mim e a este trabalho. Gostaria contudo de agradecer principalmente ao Eng.º Marcos Miranda, pela forma como me recebeu, me integrou, pelos esclarecimentos prestados e pela total disponibilidade sempre oferecida. Um grande obrigado também à Carla, Filipa e Eng.º Nuno Mano.

Agradeço à Professora Maria Helena Nadais pelo apoio e disponibilidade prestada a este trabalho.

E por último, mas não menos importantes agradeço ao Paulo por sempre acreditar em mim e me dar força nos momentos necessários. Ao meu maninho Tiago que embora longe está sempre comigo. Aos meus dez pestinhas, Raquel, Rafael, Beatriz Vieira, Beatriz Palos, David, Lara, Carolina, Matilde, Vitória e Martim por serem a minha vida. À supermulher e incrível força da natureza Susana, que pela sua coragem, força e vontade de viver nunca será esquecida, nem agora nem nunca. Grande Susana, só o agora importa e o fim não é agora! Aos restantes familiares e amigos um muito obrigado.

A todos o meu eterno e sincero obrigado!



## palavras-chave

Água, Indústria, Reutilização/reciclagem de água

## resumo

A água é um elemento essencial à vida no planeta e, por ser um recurso limitado, possui grande importância no desenvolvimento económico e social de uma região. A dificuldade de acesso à água, a forma de exploração dos recursos naturais, o crescimento e desenvolvimento das sociedades aliado ao respetivo aumento populacional, têm levado várias partes do planeta à escassez dos recursos hídricos em termos quantitativos e qualitativos.

A implementação de técnicas de gestão da água como a sua reutilização, é um instrumento para a preservação dos recursos naturais e para o controlo da poluição ambiental em qualquer lugar do mundo. Como tal, este trabalho incide no estudo de alternativas para um melhor reaproveitamento da água na *Revigrés* – Indústria de Revestimentos de Grés, Lda.

A reutilização da água na indústria apresenta muitos benefícios em questões ambientais, sociais e económicas. É uma alternativa necessária na indústria, uma vez que reduz os custos de produção, aumenta a competitividade do setor, o que melhora a imagem do setor produtivo e, consequentemente reduz os impactes ambientais, não ocorrendo descargas para o meio ambiente e economizando a água potável.

Com este trabalho pretendeu-se que a empresa reaproveite mais as águas residuais tratadas que são obtidas das ETARÍ's, de maneira a que a utilização de água limpa seja minimizada. Como tal, concluiu-se que a *Revigrés* consegue utilizar mais água tratada nos seus processos e, com a implementação das várias medidas propostas, a reutilização de água será ainda maior.



**keywords**

Water, Industry, Reuse/recycling of water

**abstract**

Water is a vital element to life as we know it in our planet, and being a limited resource, water is a key factor for the social-economic development of every region/county. The difficulty on the access to water, as well as the kind of natural resources exploitation we do, together with the growth and development of societies allied to the respective population increase, have been leading to the lack of quantity and quality of many water resources in many parts of the Planet Earth.

Adhering to water management techniques, like water reuse, leads us to the preservation of the natural resources and to the management of environmental pollution anywhere in the world. As result of that this workpiece reflects on the study of alternatives for a better water reuse in *Revigrés – Indústria de Revistimentos de Grés, Lda*. Water reuse in this company industry will allow it to benefit on environmental and social-economic matters. It is an alternative to the industry, since it reduces the production costs and it increases the competition on the sector market, which will increase the reputation on the production sector and will reduce the environmental impact consequently, avoiding waste disposals on the environment and saving drinking water a consequence.

With this workpiece, it was intent to make the company save and reuse more the industrial wastewaters obtained from the Industrial Waste Water Treatment Plants, in a way the company might reduce the use of clean waters. Regarding this, it was concluded that *Revigrés* can use more waste waters on its processes and, with the implementation of proposed alternative ways, can reuse more and more water through times.



## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA.....   | 1         |
| 1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO .....  | 3         |
| 1.3. ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO .....  | 4         |
| <b>CAPÍTULO 2 – GESTÃO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA .....</b>                                     | <b>7</b>  |
| 2.1. A ÁGUA NA INDÚSTRIA .....  | 7         |
| 2.2. UTILIZAÇÕES DA ÁGUA NA INDÚSTRIA.....  | 10        |
| 2.3. IMPORTÂNCIA DA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA .....  | 11        |
| 2.4. UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NO PROCESSO DE FABRICO NA INDÚSTRIA CERÂMICA.....                 | 13        |
| 2.5. PROCESSOS DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS NA INDÚSTRIA CERÂMICA .....                        | 15        |
| 2.6. INCONVENIENTES DA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA TRATADA NO PROCESSO .....                       | 17        |
| <b>CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....</b>                                | <b>19</b> |
| 3.1. A <i>REVIGRÉS</i> – INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS DE GRÉS, LDA.....                     | 19        |
| <b>CAPÍTULO 4 – TRABALHO REALIZADO .....</b>  | <b>23</b> |
| 4.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO .....   | 23        |
| 4.2. GESTÃO DA ÁGUA NA <i>REVIGRÉS</i> .....  | 25        |
| 4.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS .....  | 44        |
| 4.4. EFEITOS DA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA TRATADA NAS ETARÍ'S NA PASTA E NO VIDRO CERÂMICO ..... | 49        |
| 4.4.2.1. Determinação da viscosidade .....  | 50        |
| 4.4.2.2. Determinação da densidade .....  | 53        |
| <b>CAPÍTULO 5 – SUGESTÕES DE MELHORIAS PARA UM MELHOR REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA.....</b>   | <b>57</b> |
| <b>CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVA DE TRABALHO FUTURO .....</b>            | <b>61</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>65</b> |





## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Distribuição de água no planeta Terra (Conchinha, 2016). .....   | 1  |
| <b>Figura 2.</b> Cenário global da disponibilidade per capita de recursos hídricos renováveis (Goyal, 2016).<br>.....   | 3  |
| <b>Figura 3.</b> Distribuição do consumo de água por setor de atividade (UNESCO, 2003). .....   | 7  |
| <b>Figura 4.</b> Estratégias para a conservação da água num dado processo. ....   | 8  |
| <b>Figura 5.</b> A Hierarquia da Gestão da Água (WMH). (Goyal, 2016) .....  | 9  |
| <b>Figura 6.</b> Esquema de tratamento de águas residuais numa indústria cerâmica. ....   | 16 |
| <b>Figura 7.</b> <i>Revigrés</i> – Indústria de Revestimentos de Grés, Lda ( <i>Revigrés</i> – Produtora de pavimentos e revestimentos cerâmicos, sem data). .... | 19 |
| <b>Figura 8.</b> Unidades de produção da <i>Revigrés</i> . ....   | 21 |
| <b>Figura 9.</b> Produção de revestimentos e pavimentos. ....   | 24 |
| <b>Figura 10.</b> Esquema da utilização de água no processo de fabrico. ....  | 28 |
| <b>Figura 11.</b> ETARI da unidade 1. ....  | 29 |
| <b>Figura 12.</b> Esquema de funcionamento da ETARI da unidade 1. ....  | 31 |
| <b>Figura 13.</b> ETARI da unidade 2. ....  | 32 |
| <b>Figura 14.</b> Esquema de funcionamento da ETARI da unidade 2. ....  | 34 |
| <b>Figura 15.</b> ETARI da unidade 3. ....  | 35 |
| <b>Figura 16.</b> Esquema de funcionamento da ETARI da unidade 3. ....  | 37 |
| <b>Figura 17.</b> ETARI unidade 4. ....   | 38 |
| <b>Figura 18.</b> Esquema de funcionamento da ETARI da unidade 4. ....  | 40 |
| <b>Figura 19.</b> ETARI da unidade 5. ....  | 41 |
| <b>Figura 20.</b> Esquema de funcionamento da ETARI da unidade 5. ....  | 43 |
| <b>Figura 21.</b> Peça obtida através da pasta cerâmica (à esquerda) e peça obtida através do vidro (à direita). ....   | 50 |
| <b>Figura 22.</b> Copo de Ford ( <i>Paraná - Governo do Estado</i> , sem data). ....  | 51 |
| <b>Figura 23.</b> Picnómetro ( <i>Panambrá Zwick</i> , sem data). ....  | 54 |



## ÍNDICE DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1.</b> Benefícios da reutilização e reciclagem da água no setor industrial. ....  | 12 |
| <b>Tabela 2.</b> Resumo dos principais consumos de água e destino dos efluentes líquidos gerados no processo de fabrico (AEP- Associação Empresarial de Portugal, 2011). .... | 14 |
| <b>Tabela 3.</b> Parâmetros físico-químicos analisados às águas residuais tratadas, águas dos furos e água do poço, bem como os métodos de ensaio utilizados. ....            | 45 |
| <b>Tabela 4.</b> Resultados das análises Físico-químicas realizadas aos pontos de água da empresa. ....   | 46 |
| <b>Tabela 5.</b> Classificação da água quanto à sua dureza (Martins, 2001). ....  | 48 |
| <b>Tabela 6.</b> Resultados da viscosidade na produção da pasta cerâmica. ....  | 52 |
| <b>Tabela 7.</b> Resultados da viscosidade na produção do vidro. ....   | 52 |
| <b>Tabela 8.</b> Resultados da densidade na produção da pasta cerâmica. ....  | 54 |
| <b>Tabela 9.</b> Resultados da densidade na produção do vidro. ....   | 55 |
| <b>Tabela 10.</b> Medidas e respetivas ações a implementar no setor cerâmico para uma melhor gestão da água. ....   | 58 |



## CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA

A água é um recurso essencial à existência de vida no planeta Terra e, embora  $\frac{3}{4}$  da sua superfície esteja coberta por água, cerca de menos de 1% se encontra disponível para captação (Figura 1), pois nem toda a água disponível é um recurso hídrico uma vez que, o conceito de “recurso hídrico” refere-se apenas ao conjunto de águas que se encontram disponíveis, ou que podem vir a ser mobilizadas, para satisfazer em quantidade e qualidade uma certa necessidade, num determinado local e durante um determinado período de tempo (AEP - Associação Empresarial de Portugal, 2015). Considera-se então que, a água utilizada para o consumo do Homem distribui-se principalmente por três tipos de reservatórios: a água subterrânea, os lagos e os rios (Machado, 1994).



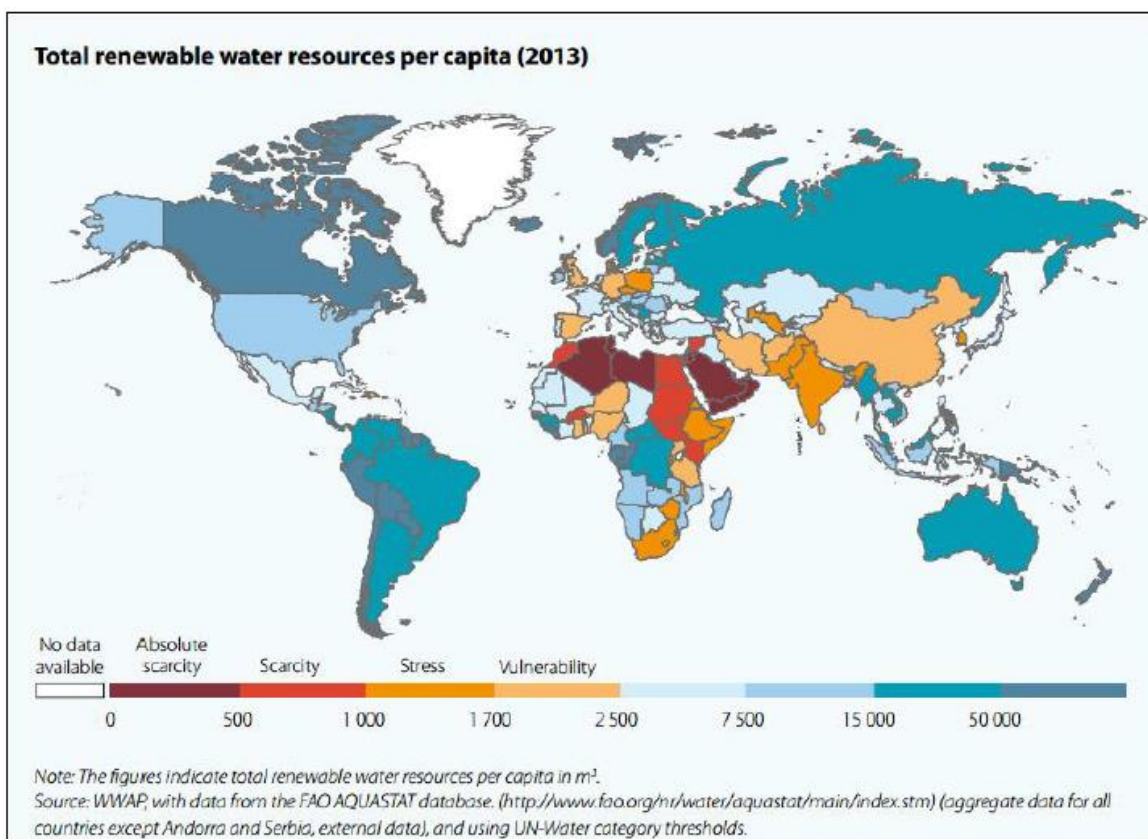
**Figura 1.** Distribuição de água no planeta Terra (Conchinha, 2016).

Em relação à disponibilidade de água, existe uma grande discrepância nas várias regiões do mundo, pois os maiores volumes de água encontram-se nas zonas temperadas e nas regiões equatoriais, que são as zonas com menor concentração populacional. Na Europa, por exemplo, o volume de água per capita (por pessoa) representa metade da média mundial do volume de água total por

peessoa. Mas, embora haja um consumo excessivo de água na Europa, esta não tem problemas de carência, pois todo continente situa-se numa zona temperada. Mas, por outro lado, nas regiões tropicais e áridas, onde os recursos hídricos se encontram desigualmente repartidos já se verifica problemas e escassez deste recurso. É portanto imprescindível, olhar para este recurso e considerá-lo um bem transfronteiriço cuja interdependência hidrológica se estende além-fronteiras e não achá-lo apenas um bem nacional (Ferreira, 2015).

Como a água é um recurso limitado, desempenha grande importância no desenvolvimento económico e social de uma região. A dificuldade de acesso à água, a forma de exploração dos recursos naturais, o crescimento e desenvolvimento das sociedades associado ao respetivo aumento populacional a nível mundial, contribuem para a escassez dos recursos hídricos em termos quantitativos e qualitativos em várias zonas do planeta (Estender et al., 2015).

Na figura seguinte, é possível verificar que muitas regiões do mundo encontram-se sob domínio de stresse hídrico causado por fatores como o esgotamento das águas subterrâneas, contaminação das águas entre outros problemas. Além destas dificuldades, algumas das atuais políticas de segurança alimentar e energética, os conflitos civis e militares e as questões transfronteiriças intensificam ainda mais o stresse hídrico e agravam cada vez mais a possibilidade da existência de um futuro seguro e sustentável (Goyal, 2016).



**Figura 2.** Cenário global da disponibilidade per capita de recursos hídricos renováveis (Goyal, 2016).

Na Figura 2, verifica-se que são muitas as regiões do mundo já a viver sob stresse hídrico, destacam-se principalmente o norte do continente africano, Arábia Saudita, Iémen e Omã que já se encontram em escassez absoluta dos recursos hídricos.

Sendo a sociedade atual muito consumista, não só no gasto excessivo de bens e materiais, como também no consumo de água e, como a água é considerada o bem mais importante e valioso, deve ser preservado e sustentado. Estes fatores associados à dificuldade de satisfazer as necessidades de água a nível mundial, torna a sua gestão um fator importante que deve estar presente cada vez mais na sociedade, sendo necessário garantir o seu uso de forma eficiente, racional e parcimoniosa (Ferreira, 2015).

## 1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho insere-se na Unidade Curricular Estágio do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Universidade de Aveiro. O estágio foi realizado na *Revigrés* – Indústria de

Revestimentos de Grés, Lda (seguidamente designada por *Revigrés*) que é uma indústria cerâmica produtora de pavimentos e revestimentos vidrados por monocozedura e grés porcelânico. O projeto desenvolvido envolveu a gestão da água na indústria, o seu tratamento e reintrodução no processo, e teve como objetivo principal contribuir para melhorar a gestão da água na instalação industrial.

De maneira a alcançar o objetivo principal já referido, foi necessário responder a alguns objetivos específicos, tais como:

- ✓ Caracterização do processo de fabrico e identificação de todas as linhas de produção existentes na unidade fabril com consumo de água;
- ✓ Identificação dos pontos de consumo e origem da água consumida em cada unidade de produção e em cada processo;
- ✓ Caracterização físico-química da água proveniente dos três furos, do poço e da água tratada de todas as Estações de Tratamento de Águas Residuais Industriais (ETARI's);
- ✓ Estudo do efeito da utilização da água tratada das ETARI's nas características da pasta e do vidro cerâmico, através da realização de ensaios laboratoriais.

### 1.3. ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Este trabalho é constituído por seis capítulos, sendo que os primeiros dois se referem principalmente à revisão bibliográfica que suporta este trabalho, e os outros quatro são alusivos mais à empresa onde este trabalho foi realizado, bem como as atividades aí desenvolvidas. Seguidamente são descritos os seis capítulos referidos:

**Capítulo 1 – Introdução:** neste capítulo é descrito o enquadramento do tema de estágio, os objetivos do mesmo e, por último a estrutura deste relatório de estágio.

**Capítulo 2 – Gestão da água na indústria:** neste ponto, é abordada a importância que a água tem para a indústria, as suas principais utilizações, a importância e os benefícios da reutilização da água na indústria, como é que é utilizada a água numa indústria cerâmica e quais os tratamentos efetuados aos seus efluentes líquidos produzidos. Ainda neste capítulo, são abordados alguns inconvenientes ou problemas da utilização da água tratada no processo de fabrico numa indústria cerâmica.

**Capítulo 3 – Caracterização do caso de estudo:** neste capítulo é efetuada a caracterização do caso de estudo onde o estágio decorreu.





**Capítulo 4 – Trabalho realizado:** neste tópico é descrito todo o trabalho realizado durante o estágio curricular. É referido como a empresa faz a gestão das suas águas, a caracterização físico-química realizada a todos os pontos de água da *Revigrés* e por último, também é abordada a experiência realizada em laboratório, com água limpa e água tratada, tanto no fabrico da pasta cerâmica como do vidro, para se verificarem quais as diferenças ocorridas.

**Capítulo 5 – Sugestões de melhorias para um melhor reaproveitamento da água:** neste capítulo são apresentadas as possíveis melhorias que podem ser adotadas para um melhor reaproveitamento da água na empresa.

**Capítulo 6 – Considerações finais e perspetiva de trabalho futuro:** neste ponto são mencionadas as conclusões obtidas com a realização deste trabalho. Neste capítulo também é sugerida uma perspetiva de trabalho futuro.

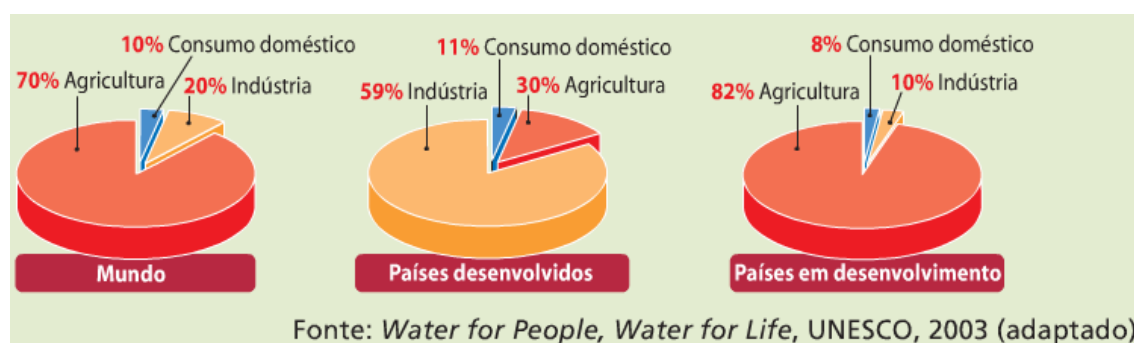


## CAPÍTULO 2 – GESTÃO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA

### 2.1. A ÁGUA NA INDÚSTRIA

O desenvolvimento tecnológico associado às necessidades humanas aumentaram o nível de consumo de água, onde esta já não é considerada apenas essencial para as várias formas de vida sobreviverem, mas também tornou-se indispensável para todos os processos de produção tecnológica.

O uso da água divide-se em consumo doméstico, industrial e agrícola. E as diferenças verificadas do seu consumo devem-se ao nível de desenvolvimento económico do país. De acordo com a Figura 3, o setor agrícola é o que apresenta maior consumo de água tanto a nível mundial como nos países em desenvolvimento, já nos países desenvolvidos é o setor industrial que usufrui de maior consumo de água (UNESCO, 2003).

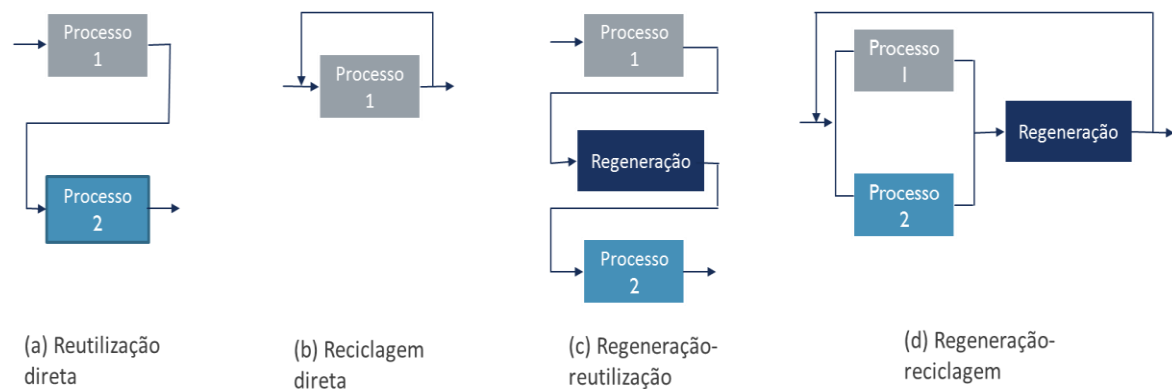


**Figura 3.** Distribuição do consumo de água por setor de atividade (UNESCO, 2003).

Segundo a UNESCO, o volume de água gasto pelo setor industrial em 1995 foi de 752 Km<sup>3</sup>/ano e, estima que esse valor vai aumentar para 1170 Km<sup>3</sup>/ano em 2025. É de salientar que o consumo de água no setor industrial varia consoante o tipo de indústrias, sendo que as indústrias que apresentam maior consumo de água são as centrais termoelétricas, a indústria do papel e as indústrias alimentares e farmacêuticas (UNESCO, 2003). Relativamente à indústria cerâmica, o consumo de água também desempenha um papel muito importante sendo indispensável numa série de processos (AEP - Associação Empresarial de Portugal, 2011).

As previsões apresentadas pela UNESCO, em junção com as limitações das reservas de água doce no planeta e as restrições aplicadas para a racionalização dos recursos hídricos, propõem que seja aplicada uma melhor gestão da água no setor industrial, tornando o seu uso mais eficiente. É

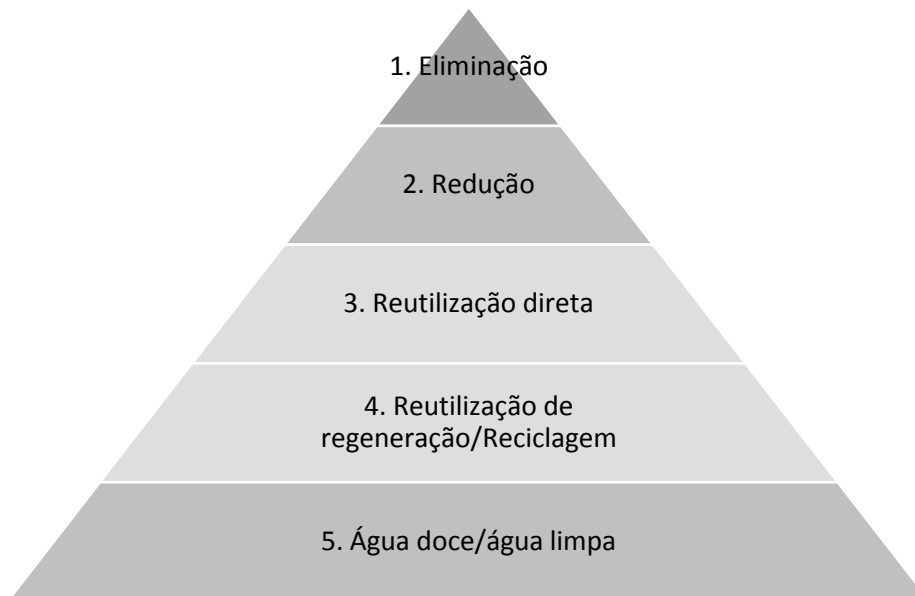
necessário cada vez mais, que as indústrias sejam capazes de reutilizar e/ou reciclar as suas águas, reduzindo assim a quantidade de água captada e os impactes provocados no ambiente. Como tal, num dado processo podem ser adotadas quatro estratégias para a conservação da água numa indústria, conforme se pode verificar na figura seguinte.



**Figura 4.** Estratégias para a conservação da água num dado processo (Foo, 2013).

De acordo com a figura, num dado processo de conservação podem ser adotadas quatro estratégias: a reutilização direta em que o efluente de uma unidade do processo é encaminhado para outra unidade e não volta a entrar na unidade onde foi utilizado anteriormente, a reciclagem direta onde o efluente volta a entrar na unidade onde foi anteriormente utilizado e, por último, a regeneração-reutilização e a regeneração-reciclagem que ocorrem quando o potencial máximo de reutilização/reciclagem direta é esgotado, o efluente pode ser enviado para regeneração numa unidade de intercetação (unidade de purificação que melhora a sua qualidade) para reutilização (Figura 4-(c)) ou para reciclagem (Figura 4-(d)) (Foo, 2013).

Na Figura 5, está representada a Hierarquia de Gestão da Água (ou Water Management Hierarchy, WMH) a qual propõe como as indústrias devem reduzir de forma sistemática a procura de água e tornar a sua utilização “economicamente legítima”.



**Figura 5.** A Hierarquia da Gestão da Água (WMH) (Goyal, 2016).

Através da Figura 5, verifica-se que a eliminação do uso de água tem prioridade sobre todas as outras opções e que a utilização de água doce/limpa é o menos preferível. Quando o uso de água não pode ser completamente eliminado, a WMH encaminha a indústria para a redução da utilização de água introduzindo as alterações necessárias, tanto nos processos como nos equipamentos. Se as medidas de eliminação e redução estão esgotadas, as indústrias devem considerar a implementação dos níveis 3 e 4 da hierarquia. O nível 3 corresponde à reutilização direta das águas residuais e/ou o uso de outras fontes como lagos e/ou rios em unidades em que se pode utilizar água de qualidade inferior sem afetar negativamente as especificações do produto final. O nível 4 é implementado quando as unidades ou processos não toleram a quantidade de águas residuais disponíveis. Neste caso, procede-se ao tratamento das águas residuais de maneira a reduzir a concentração de contaminantes para níveis aceitáveis. Finalmente, quando não é possível cumprir com os níveis anteriores da hierarquia, tem que ser utilizada água doce:

1. quando existem unidades em que não é possível utilizar água de qualidade inferior (em comparação com a da água doce) e quando os processos de tratamento não são capazes de reduzir a concentração de contaminantes das águas residuais, e
2. quando é necessária a diluição de águas residuais com água doce para auxiliar o processo de reutilização/reciclagem (Goyal, 2016).

Para a indústria, os problemas da escassez e da poluição da água têm vindo a ser encarados como um desafio económico e ambiental para cada atividade e instalação industrial. Como o setor industrial é um grande consumidor de água, é necessário o desenvolvimento de estratégias de consumo eficiente e racional, de forma a garantir o desenvolvimento sustentável do setor, sem nunca comprometer a qualidade do produto final. Como o recurso água também representa um fator limitante no desenvolvimento industrial nas regiões onde é abundante, a sua má gestão pode conduzir à sua fraca qualidade e à redução da sua quantidade. Logo, as estratégias a adotar pretendem tornar mais eficiente o uso de água, racionalizando o seu consumo e reduzindo assim a produção de águas residuais.

## 2.2. UTILIZAÇÕES DA ÁGUA NA INDÚSTRIA

A água desempenha um papel essencial em todas as atividades de qualquer unidade industrial. Logo, pode-se tornar um fator limitante no desenvolvimento industrial mesmo nas regiões onde este recurso é abundante.

Considera-se que, a utilização da água na indústria é muito importante como transportador de calor, como agente de arrefecimento, como agente de limpeza, entre outras atividades, ou seja é indispensável em toda a atividade industrial (Machado, 1994). O tipo de indústria e as atividades desenvolvidas por essa indústria definem os tipos de uso de água, tanto quantitativamente como qualitativamente. As principais aplicações de água na indústria são as seguintes (Sautchúk, 2005):

- ✓ Consumo humano: a água é utilizada em casas de banho, cozinhas, refeitórios, equipamentos de segurança e quaisquer atividades com contacto direto humano.
- ✓ Matéria-prima: quando a água é incorporada no produto final (por exemplo: indústrias alimentares, de bebidas, de produtos de higiene, entre outros), ou quando é utilizada para obtenção de outros produtos (por exemplo: obtenção de hidrogénio pela eletrólise de água).
- ✓ Fluido auxiliar: quando a água é utilizada na preparação de suspensões e soluções químicas, reagentes químicos, entre outros.
- ✓ Fluido térmico: a água é utilizada como fluido para permuta de energia calorífica, quer no aquecimento quer no arrefecimento.
- ✓ Produção de energia: a água é utilizada na transformação de energia cinética, potencial ou térmica, para posteriormente ser convertida em energia elétrica.

- ✓ Outras utilizações: a água é utilizada nos sistemas de rega, nos sistemas de combate a incêndios ou na incorporação nos subprodutos gerados nos processos industriais.

Atualmente, e sabendo que a água é um bem essencial e escasso para a indústria, as empresas pretendem aderir a novos desafios para melhorar a sua gestão. Como a preservação da água é fundamental a nível industrial, uma das questões ambientais mais importantes passa pela minimização do consumo de água limpa, consistindo na sua reutilização e/ou reciclagem.

Para uma correta gestão da água na indústria, é necessário ter um conhecimento detalhado de todo o ciclo industrial, para a partir daí, ser capaz de avaliar alternativas mais eficientes para os diferentes tipos de água. Para isto, deve então ser feita uma previsão da poupança de água, de maneira a racionalizar o seu consumo, traduzindo-se posteriormente em benefícios financeiros e ambientais quantificáveis. Devem, portanto, ser adotadas boas práticas e medidas preventivas do consumo de água e produção de águas residuais.

### **2.3. IMPORTÂNCIA DA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA**

A reciclagem e a reutilização da água não são um conceito novo na história do planeta Terra. A própria natureza, através do ciclo da água, reutiliza e recicla constantemente a água há milhões de anos (Hespanhol et al, 2005).

Como já referido, a água representa um papel fundamental em qualquer unidade industrial e como tal, a sua gestão e a implementação de práticas para a sua reutilização tornam-se essenciais em qualquer indústria e em qualquer lugar do mundo. Logo, a crescente preocupação referente às reservas de água doce no planeta têm impulsionado a necessidade de tornar mais eficiente o uso da água.

Para a seleção da água a recuperar, é necessário um estudo específico para garantir a qualidade exigida para o fim pretendido. Independentemente do fim pretendido, a água reutilizada está sempre dependente de um controlo químico, físico e biológico. Logo, é essencial monitorizar a qualidade da fonte de água utilizada, do tratamento aplicado e a credibilidade dos sistemas de distribuição. Para garantir os critérios de qualidade da água é necessário cumprir alguns aspetos fundamentais (Crook, 1993):

- ✓ Saúde pública – a água reutilizada tem como principais preocupações a segurança da saúde da população e as características microbiológicas da água.

- ✓ Requisitos do uso – a água reutilizada tem que obedecer a certos parâmetros físicos, químicos e biológicos.
- ✓ Efeitos na irrigação – na água reutilizada devem ser considerados os efeitos constituintes da água na vegetação, nos solos e nos aquíferos.
- ✓ Aspetos ambientais – a utilização da água reutilizada não deve afetar a fauna e a flora da área recetora nem da área vizinha.
- ✓ Aspetos estéticos – a água reutilizada não deve apresentar cor nem odor diferente à da água potável, ou seja, deve ser clara, sem cor e sem odor.
- ✓ Aceitação da população e/ou do utilizador – a água deve apresentar garantia de como é segura e aceitável para o uso pretendido.

Embora a reutilização e a reciclagem da água ainda apresentem algumas contrariedades, é necessário também salientar os benefícios ambientais, sociais e económicos que apresenta a nível industrial (Tabela 1).

**Tabela 1.** Benefícios da reutilização e reciclagem da água no setor industrial.

| <b>Benefícios ambientais</b>   | <b>Benefícios sociais</b>  | <b>Benefícios económicos</b>  |
|--|--|---|
| Redução de efluentes industriais para o meio recetor natural                         | Oportunidade de negócio para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos   | Concordância ambiental com os padrões e normas ambientais estabelecidos |
| Redução da captação de águas superficiais e subterrâneas                             | Ampliação da empregabilidade tanto diretamente como indiretamente  | Mudança de padrões produtivos e de consumo                              |
| Aumento da disponibilidade de água, de melhor qualidade, para uso de maior exigência | Melhoria da imagem do setor produtivo junto da opinião pública com o reconhecimento de empresas socialmente responsáveis | Redução dos custos de produção  |
| -----  | -----  | Aumento da competitividade do setor                                     |

Como verificado na tabela anterior, é de salientar que a reutilização e a reciclagem da água na indústria apresentam muitos benefícios a nível ambiental, social e económico. A reutilização da água na indústria é uma alternativa importante, uma vez que reduz os custos de produção, aumenta a competitividade do setor, o que melhora a imagem do setor produtivo e, consequentemente reduz os impactes ambientais não ocorrendo descargas para o meio ambiente e, por último, o uso de água potável é economizado.



## 2.4. UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NO PROCESSO DE FABRICO NA INDÚSTRIA CERÂMICA

O consumo de água desempenha um papel muito importante na indústria cerâmica, sendo fundamental numa série de processos. A água utilizada na produção pode ser classificada de acordo com a função que desempenha no processo. A água pode ser utilizada (Comissão Europeia, 2006):

- ✓ Como matéria-prima – quando a água é acrescentada diretamente à mistura utilizada para o corpo cerâmico, como por exemplo, na preparação da peça para suporte cerâmico, na preparação de esmaltes e na humidificação de peças para posterior aplicação de esmaltes. Este consumo de água praticamente não gera efluentes líquidos, uma vez que, grande parte da água é evaporada durante as fases de atomização, secagem, vidragem e cozedura.
- ✓ Como veículo de permutação de calor – quando a água desempenha a função de arrefecer sistemas hidráulicos, compressores, entre outros. A água utilizada nestes sistemas, deve ser limpa e com baixa dureza para evitar a formação de calcário nos permutadores de calor, pode também ser usada em circuitos fechados após as operações de arrefecimento e/ou limpeza.
- ✓ Como agente de tratamento – a água pode ser usada nos processos de tratamento de efluentes gasosos (sistemas de tratamento por via húmida dos efluentes gasosos e separadores húmidos de poeiras). As águas tratadas podem ser utilizadas novamente no processo depois de sofrerem tratamento.
- ✓ Como agente de limpeza – a água é utilizada para limpar os equipamentos e as instalações: na secção de preparação de pastas, na secção de preparação de esmaltes, nas linhas e equipamentos de esmaltação, e na lavagem de corantes, sistemas de refrigeração, compressores, entre outros. A limpeza é a operação que mais consome água, sendo por isso necessário uma gestão adequada, com objetivo de poupar água e evitar a produção de águas residuais de processo. O consumo de água pode ser reduzido, se a água for tratada e reutilizada várias vezes na limpeza.

Durante o processo, são produzidos efluentes que podem ter como principais contaminantes: resíduos sólidos da evaporação, cloro, sulfatos, fosfatos, ácido silícico, cálcio, magnésio, boro, zinco, chumbo, cádmio, cromo, cobre, níquel e cobalto provenientes dos diferentes produtos como esmaltes, resinas e argila. Este efluente deve ser tratado antes de ser lançado no ambiente, para evitar a contaminação dos solos, dos sedimentos no leito dos rios, de aquíferos e de outros corpos de água (AEP - Associação Empresarial de Portugal, 2011).

Na tabela seguinte, destacam-se os principais pontos de consumo e os principais destinos dos efluentes líquidos gerados no processo de fabrico de uma indústria cerâmica.

**Tabela 2.** Resumo dos principais consumos de água e destino dos efluentes líquidos gerados no processo de fabrico (AEP - Associação Empresarial de Portugal, 2011).

| Etapa do processo                     | Consumo de água   | Destino   |
|---------------------------------------|---|---|
| <b>Armazenamento de matéria-prima</b> | Irrigação de <i>stocks</i> de argila armazenados ao ar livre no solo e zonas não pavimentadas | Atmosfera (evaporação);<br>Infiltração no solo  |
| <b>Moagem por via húmida</b>          | Matéria-prima; Agente de lavagem  | Reutilização das águas residuais na preparação da matéria-prima   |
| <b>Moagem por via seca</b>            | Matéria-prima   | Atmosfera (evaporação)  |
| <b>Atomização</b>                     | Agente de limpeza; Sistemas de depuração de gás por via húmida                                | Atmosfera (evaporação);<br>Reutilização das águas residuais na preparação da matéria-prima  |
| <b>Conformação das peças</b>          | Veículo de transferência de calor   | Reutilização em circuito fechado com torre de refrigeração  |
| <b>Preparação de esmaltes</b>         | Matéria-prima; Agente de lavagem  | Reutilização das águas residuais na preparação de matérias-primas (suporte) no próprio processo ou por gestão externa;<br>Agente de lavagem após o tratamento físico-químico;<br>Descarga com depuração prévia                            |
| <b>Esmaltagem</b>                     | Sistemas de depuração por via húmida; Agente de lavagem                                       | Atmosfera (evaporação);<br>Reutilização das águas residuais na preparação de matérias-primas (suporte) no próprio processo ou por gestão externa;<br>Agente de lavagem após o tratamento físico-químico;<br>Descarga com depuração prévia |
| <b>Polimento, retificação e corte</b> | Veículo de transferência de calor e limpeza dos resíduos da operação                          | Reutilização em circuito fechado (com depuração prévia)   |

A previsão da poupança de água pode conduzir à racionalização do seu consumo, traduzindo-se em benefícios financeiros e ambientais quantificáveis. Devem por isso ser adotadas boas práticas e medidas preventivas do consumo de água e produção de águas residuais para a indústria cerâmica

e que contribuirão para uma produção mais limpa neste setor (AEP - Associação Empresarial de Portugal, 2011).

## 2.5. PROCESSOS DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS NA INDÚSTRIA CERÂMICA

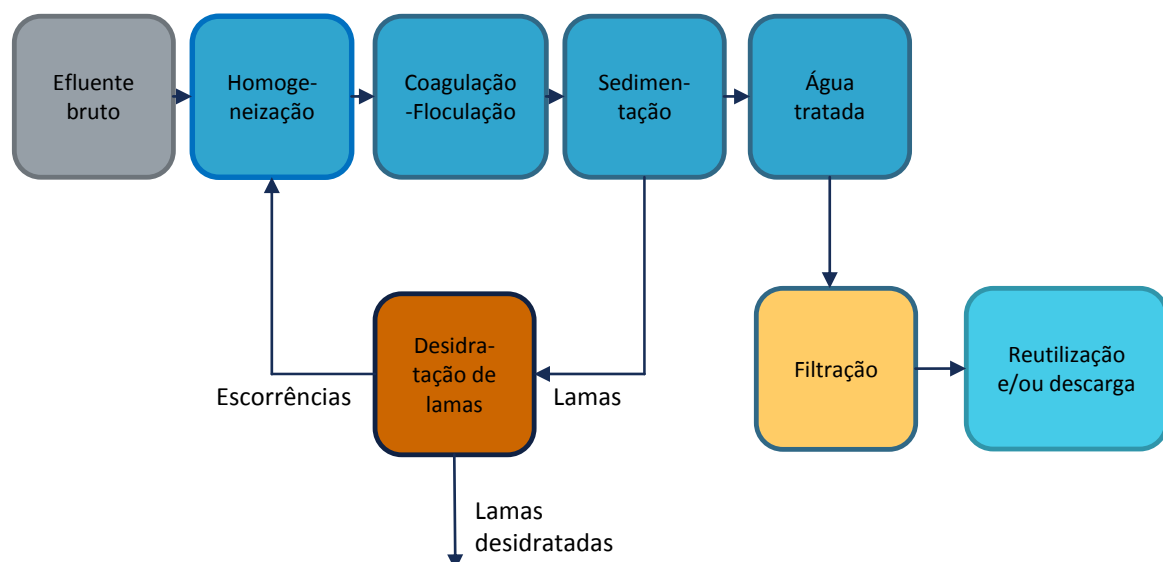
Os tratamentos efetuados aos efluentes industriais compreendem os processos necessários à remoção de impurezas da água resultantes do fabrico dos produtos. Os métodos de tratamento utilizados estão relacionados com o tipo de efluente resultante, ao controlo operacional da indústria, às características da água utilizada e ao uso que se pretende dar ao efluente (Crespilho et al, 2004).

Os tratamentos físico-químicos são os mais adequados no tratamento de efluentes de uma indústria cerâmica (Escardino, 1998). De entre os processos físicos, destacam-se a sedimentação e homogeneização e nos processos químicos a neutralização, coagulação e floculação (Comissão Europeia, 2006). Os principais tratamentos efetuados às águas residuais geradas são os seguintes:

- ✓ Homogeneização – o processo é iniciado com a entrada do efluente bruto no tanque de equalização/homogeneização de maneira a que o efluente fique o mais homogéneo possível para evitar os problemas associados à variação da composição do efluente (Silva et al, [s.d.]).
- ✓ Arejamento (oxigenação) – processo físico que pretende a oxigenação dos materiais para facilitar a posterior floculação, a oxigenação dos compostos orgânicos presentes na água residual, eliminação de odores, entre outros. Os equipamentos de arejamento utilizados podem ser agitadores ou turbinas (Comissão Europeia, 2006).
- ✓ Sedimentação (decantação) – este processo consiste na separação parcial, por gravidade, das partículas sólidas de um líquido. Na sedimentação são normalmente utilizados sedimentadores circulares. A água tratada resultante da sedimentação é filtrada para a separação dos sólidos suspensos do líquido. E as lamas resultantes são desidratadas (Comissão Europeia, 2006).
- ✓ Filtração – a filtração consiste na separação dos sólidos suspensos do líquido, através da passagem do líquido por um meio poroso que retém as matérias sólidas e deixa passar o líquido. Os tipos de filtros utilizados na indústria cerâmica são filtros em profundidade (de leito), filtros de prensa e filtros de rotação em vácuo (Comissão Europeia, 2006).

- ✓ Absorção por carvão ativado – este tratamento consiste na capacidade que o carvão tem para absorver as moléculas orgânicas, nomeadamente substâncias orgânicas não biodegradáveis, presentes na água (Comissão Europeia, 2006).
- ✓ Precipitação química – este tratamento tem por base a remoção de elementos dissolvidos fazendo-os precipitar sob a forma de compostos insolúveis, através da adição de cal (Comissão Europeia, 2006).
- ✓ Coagulação e floculação – como grande parte dos metais presentes na água estão na forma coloidal, torna-se necessário utilizar agentes coagulantes, que mediante uma agitação adequada, provocam o agrupamento das partículas favorecendo a sua precipitação. De seguida, adicionam-se agentes floculantes que formam agregados de partículas muito maiores (flocos), que favorecem o processo de sedimentação. Os coagulantes mais utilizados são os sais de ferro e alumínio e os polímeros orgânicos (catiônicos ou aniônicos) (Silva et al, [s.d.]).
- ✓ Troca iónica e osmose inversa – estes processos têm como objetivo a remoção de boro da água de lavagem. A osmose inversa também é utilizada para reduzir a quantidade de descargas de águas residuais de processo (Comissão Europeia, 2006).

Na Figura 6 está representado um esquema de tratamento efetuado às águas residuais numa indústria cerâmica.



**Figura 6.** Esquema de tratamento de águas residuais numa indústria cerâmica.

O tratamento das águas residuais resultantes do processo de fabrico possibilita a redução da contaminação da água e a redução do consumo de água, visto que a água tratada pode ser reutilizada noutros processos. A nível económico conduz a poupanças significativas com a possibilidade do reaproveitamento da água tratada.

## **2.6. INCONVENIENTES DA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA TRATADA NO PROCESSO**

A utilização da água tratada proveniente das ETARÍ's no processo de fabrico poderia ser uma vantagem e uma solução tanto económica como ambiental para as indústrias, principalmente as de cerâmica, que são grandes consumidoras de água.

Mas, embora a água tratada possa ser utilizada na lavagem de alguns equipamentos e das instalações, apresenta algumas restrições quando utilizada diretamente no fabrico das peças cerâmicas, por não possuir as características adequadas. Os inconvenientes da utilização da água tratada na produção das peças cerâmicas são os seguintes:

- ✓ As águas tratadas nas ETARÍ's possuem elevada carga iónica proveniente do processo de moagem, em que há libertação de metais, os quais são apenas removidos com um tratamento adequado às águas residuais (Rasteiro et al., 2005);
- ✓ A utilização de coagulante à base de sais de ferro, como o sulfato ferroso, o cloreto férrico, o sulfato férrico e o sulfato ferroso clorado, pode interferir na coloração do produto, quando a água é reutilizada no processo de confeção da peça cerâmica (Zanette, 2004);
- ✓ A utilização de coagulante à base de sais de alumínio (sulfato de alumínio) também pode trazer inconvenientes ao produto final, uma vez que, pode causar pequenos furos e opalescência na peça quando água é usada na preparação de esmaltes (Zanette, 2004);
- ✓ O efluente tratado, isento de sólidos e com pH próximo do neutro poderia ser reaproveitado no processo de fabrico, nomeadamente na preparação da pasta cerâmica mas, como este efluente contém metais e iões dissolvidos na água, pode afetar a coloração dos esmaltes e tintas (Zanette, 2004);
- ✓ A água reciclada não é utilizada no processo de preparação da pasta devido ao floculante, por causar problemas na sua preparação (forma uma pasta tipo pudim).



## CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

---

### 3.1. A REVIGRÉS – INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS DE GRÉS, LDA

A *Revigrés* – Indústria de Revestimentos de Grés, Lda, sediada em Barrô (Águeda, Portugal), foi fundada e dirigida pelo Engenheiro Adolfo Roque em 1977 (Figura 7). Ao longo dos anos, tem sido uma empresa com uma história de sucesso apoiada numa forte política de expansão e desenvolvimento. A empresa é uma referência no mundo cerâmico, especializada na produção de revestimentos e pavimentos cerâmicos.



**Figura 7.** *Revigrés* – Indústria de Revestimentos de Grés, Lda (*Revigrés* – Produtora de pavimentos e revestimentos cerâmicos, [s.d.]).

A empresa tem enorme destaque pela sua grande aposta no design, na inovação, na qualidade e no serviço a qual tem sido reconhecida com a atribuição de vários prémios, dos quais o Prémio de *Design* de Produto no âmbito dos Prémios Nacionais de *Design* com a coleção mais completa a nível mundial em grés porcelânico com 38 cores em variados formatos e acabamentos. Outras coleções importantes são as Coleções de Autor, desenvolvidas por autores reconhecidos na arquitetura e artes plásticas. Além de que, também apresenta quádrupla certificação nos seis sistemas de gestão integrados: qualidade, ambiente, responsabilidade social, investigação, desenvolvimento e inovação. A empresa é a única empresa nacional do setor cerâmico certificada pela responsabilidade social, investigação, desenvolvimento e inovação.

A *Revigrés* conta com diversos factos que marcaram a evolução/desenvolvimento da sua indústria tanto ao nível dos produtos como a nível ambiental. Em 1982 foi inaugurada a primeira delegação em Lisboa e foram instalados novos fornos de nova geração para poupança de energia de maneira

a aumentar a capacidade e melhorar a qualidade dos produtos. A empresa continuou com o desenvolvimento de novas técnicas e produtos, até que em 1995 foi-lhe atribuído o Certificado de Qualidade (segundo as normas NP EN ISO 9002) pelo Instituto Português da Qualidade, sendo a primeira empresa do setor a ser certificada. No ano seguinte, foi implementada a Estação de Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais e modernizada a Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos Industriais. Em 1997 foi estabelecida a ligação à rede de gás natural, por ser um combustível menos poluente. Em 1998, a empresa aderiu ao pacto de adaptação ambiental para o cumprimento das normas Europeias de gestão da qualidade de efluentes gasosos e líquidos e de resíduos sólidos industriais. No ano de 2000, foi estabelecida a instalação dos equipamentos de proteção ambiental para o processo de Certificação ISO 4000. Em 2010, a *Revigrés* é nomeada para os *Green Project Awards* pelo reconhecimento das boas práticas em projetos que promovam o desenvolvimento sustentável (*Revigrés* – Produtora de pavimentos e revestimentos cerâmicos, [s.d.]).

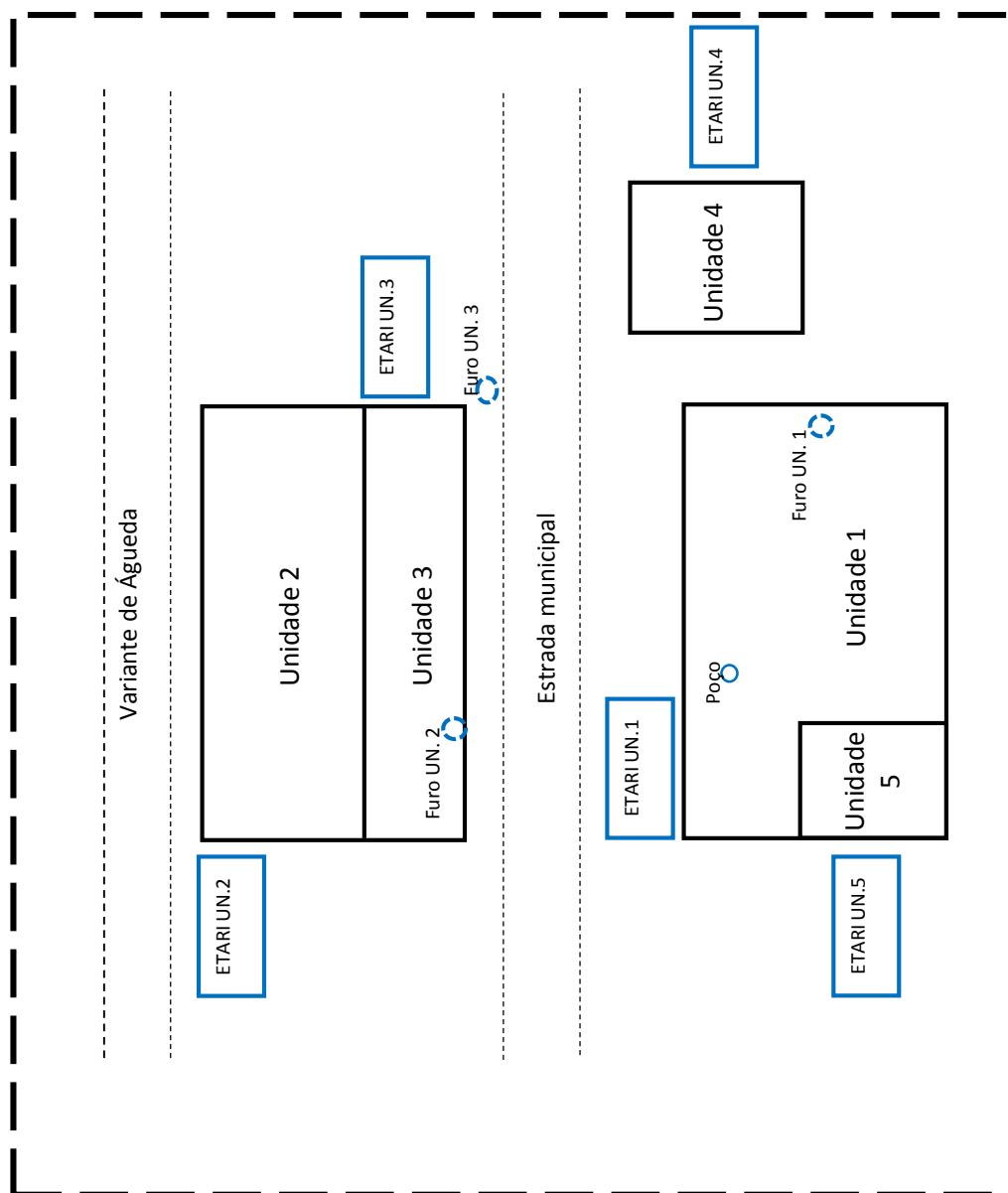
A *Revigrés* é constituída por cinco unidades de produção. A Unidade 1 é responsável pela produção de revestimentos cerâmicos vidrados e revestimentos/pavimentos em grés porcelânico esmaltado, na Unidade 2 ocorre a produção de revestimentos/pavimentos em grés porcelânico, na Unidade 3 é produzida a pasta cerâmica, na Unidade 4 é onde são efetuados os acabamentos das peças, como o corte, retificação e polimento e por último, a Unidade 5 é a unidade responsável pela decoração das peças cerâmicas. Cada unidade de produção possui uma Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais (ETARI).

Relativamente ao abastecimento de água limpa às unidades de produção verifica-se que o furo da unidade 1 abastece as unidades 1, 4 e 5 e o furo das unidades 2 e 3 abastecem as unidades 2 e 3, respetivamente. O poço fornece água limpa à unidade de produção 1.

A empresa faz o tratamento de todos os efluentes líquidos produzidos, no entanto, não tem destino para toda a água tratada proveniente das ETARI's, pelo que é necessário a realização de um estudo, para verificar se é possível a reintrodução dessa água no processo de fabrico, ou seja, fazer uma melhor gestão da água.

Na Figura 8 estão representados os locais onde foram recolhidas as amostras da água dos furos, do poço e das ETARI's.





**Figura 8.** Localização dos pontos de recolha das amostras da água dos furos, do poço e das ETARI's.

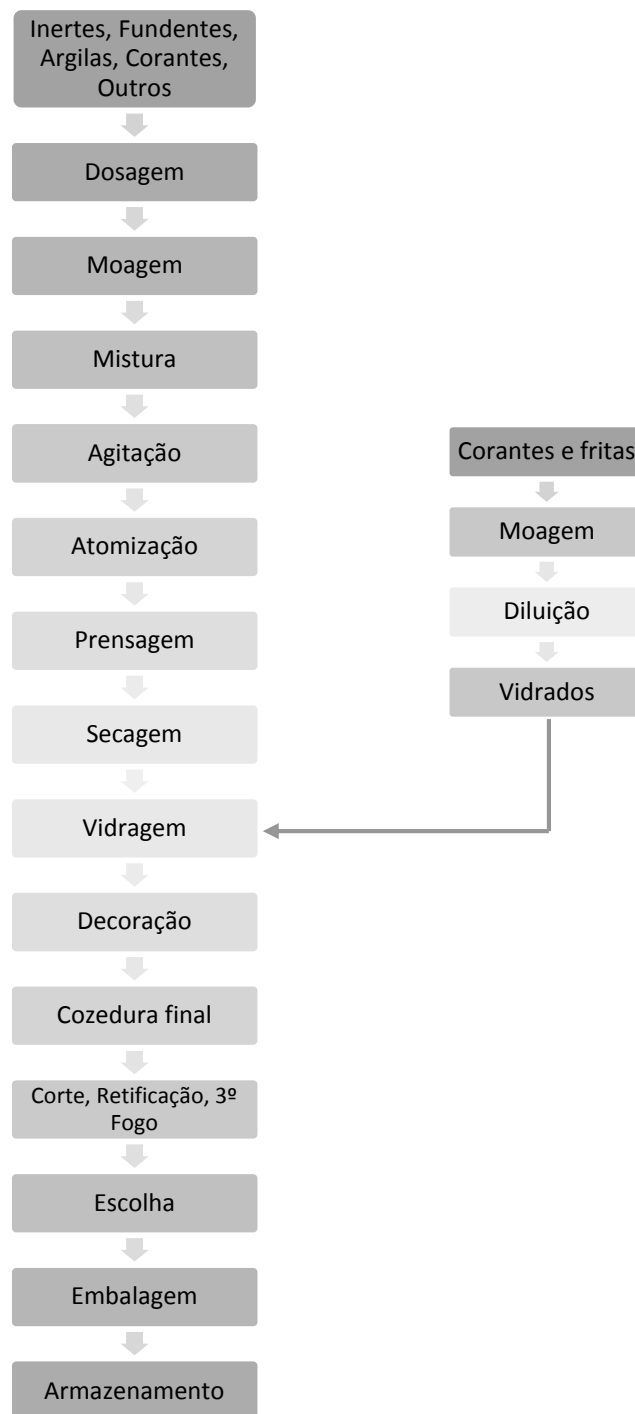


## CAPÍTULO 4 – TRABALHO REALIZADO

---

### 4.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO

O subsetor de Cerâmica de Pavimentos e Revestimentos inclui as empresas produtoras de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas cerâmicas. O processo produtivo deste subsetor compreende as seguintes etapas: preparação da pasta e atomização, prensagem e secagem, vidragem, cozedura, escolha e embalagem (Figura 9).



**Figura 9.** Produção de revestimentos e pavimentos.

O processo de fabrico é iniciado com a seleção das matérias-primas, em que para a produção de pavimentos são utilizadas principalmente argilas, feldspatos, areia e talco e, para a produção de revestimentos são utilizadas argilas/caulinos, areia, calcite/dolomite e/ou feldspatos e talco. As

matérias-primas são armazenadas em tulhas, onde são depositadas por camadas para uma melhor homogeneização.

De seguida, as matérias-primas são transportadas das tulhas para os silos, onde são doseadas através de telas pesantes e conduzidas para os moinhos de bolas cilíndricos, contínuos e/ou descontínuos, onde as matérias-primas duras são moídas por via húmida, obtendo-se uma pasta cerâmica em estado líquido: a barbotina. Às pastas a que são adicionados corantes são colocadas num tanque em que é acrescentado o pigmento em suspensão.

A barbotina é armazenada em poços de *stockagem* e pulverizada dentro da câmara de atomização, onde é submetida a uma corrente controlada de ar quente que provoca a evaporação da água e a transformação da barbotina num pó atomizado (operação com objetivo de retirar o excesso de água e originar um pó com 3 a 5% de humidade). O pó atomizado é armazenado em silos e distribuído por cor.

Posteriormente, o pó atomizado (já doseado e misturado) segue para as prensas através de silos móveis, as quais são responsáveis por adquirir forma e estrutura à peça. Depois de prensadas, as peças cerâmicas passam por secadores verticais até se obterem humidades residuais de cerca de 0,5%.

As peças de cerâmica podem ser vidradas e/ou decoradas através de diferentes técnicas. Depois, as peças são encaminhadas para os fornos onde são cozidas durante 50 a 60 minutos a uma temperatura compreendida entre 1150°C e 1250°C.

Seguidamente, as peças podem seguir para polimento, corte e retificação. No polimento é aplicado um impermeabilizante na superfície das peças que lhe confere uma maior resistência.

Depois, as peças são enviadas para a zona de controlo de qualidade onde são verificadas as seguintes características dimensionais: esquadria, planaridade e calibre. Por fim, de acordo com a sua classificação, as peças são embaladas, identificadas, paletizadas e armazenadas em *stock*, prontas para envio.

## **4.2. GESTÃO DA ÁGUA NA REVIGRÉS**

### **4.2.1. UTILIZAÇÃO DE ÁGUA NO PROCESSO DE FABRICO**

Em relação à fonte de fornecimento de água, a empresa possui três furos e um poço responsáveis pelo fornecimento de água potável para a produção das peças cerâmicas. Em algumas unidades de

produção, também é utilizada água tratada das várias ETARI's da empresa mas unicamente para as lavagens dos equipamentos e das instalações.

Relativamente ao consumo de água nas unidades de produção, verifica-se que todas as unidades consomem água e produzem águas residuais, embora ocorra maior consumo e produção de águas residuais numa unidade do que noutras. Seguidamente, é descrito com mais pormenor o consumo e a produção de águas residuais em todas as unidades de produção.

### **Unidade de produção 1**

Esta unidade é responsável pela produção de revestimentos cerâmicos vidrados e revestimentos/pavimentos em grés porcelânico esmaltado. É constituída por três linhas de esmaltação que consomem água do furo por toda linha de produção. Nesta unidade de produção, não se utiliza água tratada proveniente da ETARI, pois esta possui certos componentes que danificam/contaminam os vidros da peça cerâmica. Nas lavagens das instalações e dos equipamentos também é utilizada água limpa do furo.

Relativamente às águas residuais produzidas nesta unidade de produção, estas são encaminhadas para a ETARI da unidade 1, excetuando a linha de retificação de monoporosa em que as águas residuais produzidas são encaminhadas para a ETARI da unidade 5, devido aos produtos utilizados nesta linha de produção.

Esta unidade também é responsável por outras tarefas, como a escolha e a embalagem, mas que não envolvem nem o consumo nem a produção de águas residuais.

### **Unidade de produção 2**

Nesta unidade ocorre a produção de revestimentos/pavimentos em grés porcelânico. A unidade é composta por seis linhas de produção todas elas com consumo de água do furo (água limpa). Esta água é utilizada para acertar as densidades aos vidros, para lavar os equipamentos (quando estão em funcionamento) e para lavar os tapetes das várias linhas de produção. Nesta unidade é utilizada água proveniente da ETARI da unidade 3 para as lavagens das instalações e dos equipamentos, quando estes não estão em funcionamento.

Nas linhas de retificação e corte (designadas por linhas 6 e 7, respetivamente), também presentes na unidade de produção 2, é utilizada ao longo do processo de fabrico, tanto água do furo como água tratada da ETARI. O uso de água limpa ocorre principalmente na etapa de acabamento das peças polidas, pois é necessário uma água de maior qualidade.

As águas residuais produzidas nesta unidade são encaminhadas para um poço, sendo depois bombeadas para a ETARI da unidade 2 onde são tratadas.

Nesta unidade como balanço final do consumo de água e produção de águas residuais, pode-se concluir que o maior gasto de água é da água proveniente da ETARI, ou seja, água que é tratada e posteriormente reaproveitada.

### **Unidade de produção 3**

Esta unidade é responsável pela produção da pasta cerâmica sendo que para a conceção da pasta é utilizada água do furo. A água utilizada é encaminhada ao longo do processo de fabrico, onde praticamente toda a água é libertada na forma de vapor de água nos atomizadores, responsáveis pela transformação da barbotina em pó.

A água da ETARI é utilizada apenas nas lavagens dos equipamentos, das instalações e no arrefecimento das bombas do moinho. As águas residuais produzidas pelas lavagens são encaminhadas para a ETARI da unidade 3, onde são tratadas e recirculadas novamente para o processo.

Como balanço final do consumo de água e produção de águas residuais, conclui-se que nesta unidade de produção grande parte da água do furo é perdida na forma de vapor de água, sendo que a água que é encaminhada para a ETARI é aquela que é usada para as lavagens das instalações e dos equipamentos, a qual é posteriormente tratada e reutilizada.

### **Unidade de produção 4**

Esta unidade é responsável por efetuar os acabamentos nas peças cerâmicas. A unidade é constituída por três linhas de polimento com retificação e uma linha só com retificação.

Nesta unidade de produção, é utilizada água tratada da ETARI no processo de fabrico, embora ao longo do processo também seja utilizada água limpa proveniente do furo, principalmente no acabamento das peças polidas, em que é necessário água de maior qualidade.

As águas residuais produzidas nesta unidade são encaminhadas para a ETARI da unidade 4, onde são tratadas e depois recirculadas novamente no processo e assim sucessivamente.

### **Unidade de produção 5**

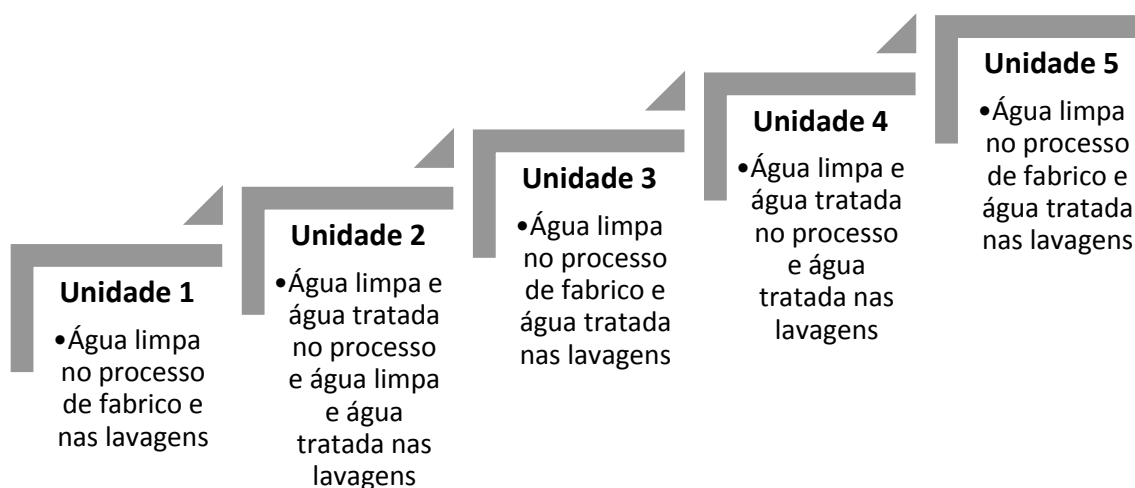
Esta unidade é responsável pela decoração das peças cerâmicas. Nesta unidade é utilizada água do furo nas linhas de produção *warm up*, pois é necessário que a água seja de maior qualidade para

não danificar a peça. Para as lavagens das instalações e dos equipamentos é usada água tratada da ETARI.

As águas residuais produzidas nesta unidade de produção são encaminhadas para a ETARI da unidade 5, sendo que depois de tratadas são novamente introduzidas no processo.

Como balanço final do consumo de água e produção de água residuais, verifica-se que nesta unidade o maior gasto de água ocorre nas lavagens, ou seja, água tratada da ETARI. A água utilizada diretamente do processo de fabrico, ou seja, água do furo é utilizada em pequena quantidade.

Na figura seguinte está representado um esquema da utilização da água no processo de fabrico da *Revigrés*.



**Figura 10.** Esquema da utilização de água no processo de fabrico.

#### 4.2.2. TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUAIS INDUSTRIAIS

A *Revigrés* dispõe de cinco Estações de Tratamento de Águas Residuais Industriais (ETARI's) responsáveis por tratar os efluentes resultantes do processo de fabrico e das lavagens dos equipamentos e das instalações. Para o tratamento das águas residuais resultantes do processo são adicionados o coagulante, que mediante uma agitação adequada provoca o agrupamento das partículas favorecendo a sua precipitação, e o floculante que forma agregados de partículas muito maiores (flocos) que favorecem o processo de sedimentação.

Seguidamente, é descrito com mais pormenor o funcionamento das várias ETARI's que a empresa dispõe.



### **Funcionamento da ETARI da unidade 1**

A ETARI da unidade 1 (Figura 11) é responsável pelo tratamento das águas residuais geradas pelas linhas de esmaltação e da preparação de esmaltes da unidade de produção 1, é também responsável pelo tratamento do excedente (*overflow*) da ETARI da unidade 5. Esta ETARI é composta pelos seguintes equipamentos:

- ✓ 1 Tanque de receção do efluente bruto;
- ✓ 2 Hélices;
- ✓ 1 Decantador;
- ✓ 1 Tanque de armazenamento de água tratada;
- ✓ 1 Silo de armazenamento da água tratada;
- ✓ 3 Tanques de homogeneização de lamas (1 inativo);
- ✓ 1 Filtro de prensas (com descarga manual);
- ✓ Outros equipamentos mecânicos.

Para o tratamento das águas residuais, nesta ETARI é utilizado o coagulante AMBIFLOC RD4 e o floculante AMBIFLOC 2045 UJ.



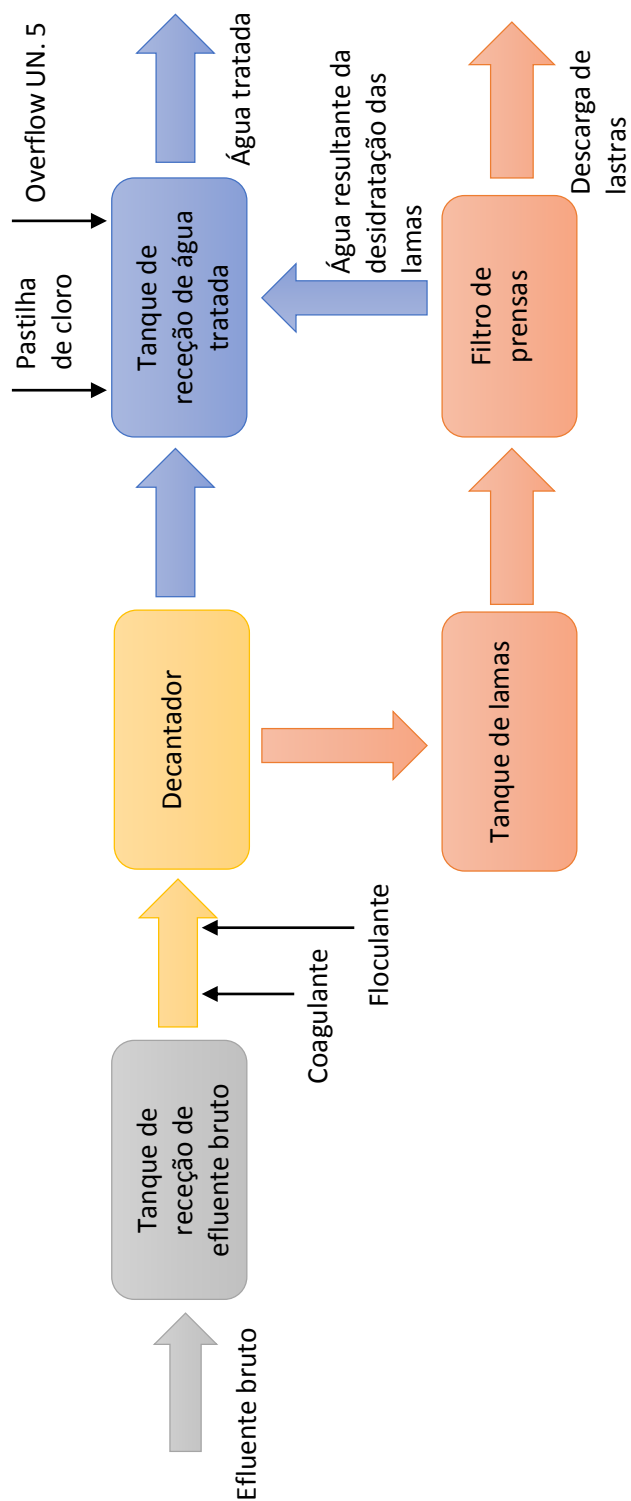
**Figura 11.** ETARI da unidade 1.

As águas residuais resultantes do processo de fabrico são encaminhadas para os tanques de receção do efluente bruto, que estão equipados por duas hélices, garantindo a homogeneização do efluente bruto, e por bombas que auxiliam o bombeamento e o transporte da água residual até ao decantador.

Durante o processo de transporte de água residual do tanque para o decantador, são adicionados o coagulante (AMBIFLOC RD4) e posteriormente o floculante (AMBIFLOC 2045 UJ). Este procedimento é denominado de injeção dos produtos em linha, e sucede de maneira a que ocorra um aumento do tempo de contacto entre os produtos e a água residual, resultando numa melhor homogeneização e gestão do tempo.

No decantador, ocorre a sedimentação das partículas floculadas originando as lamas que, por gravidade, depositam no fundo do decantador. A parte superior do decantador fica com a água tratada que é encaminhada para o tanque de receção de água tratada para posterior reutilização. As lamas resultantes são descarregadas para os tanques de receção de lamas onde é mantida a sua agitação. Posteriormente, com auxílio de uma bomba pneumática, as lamas são encaminhadas para o filtro de prensas onde é retirado o excesso de água (desidratação das lamas) formando as lastras, as quais são descarregadas na tulha e depois valorizadas no exterior. A água resultante da desidratação é dirigida para o tanque de água tratada. No tanque de água tratada é adicionada uma pastilha de cloro (AMBIPISCINA 90P) para evitar a formação de microrganismos.

Este sistema de tratamento de águas funciona em circuito fechado (Figura 12), uma vez que a água tratada resultante do processo de tratamento é reutilizada no processo de fabrico.



**Figura 12.** Esquema de funcionamento da ETARI da unidade 1.

### **Funcionamento da ETARI da unidade 2**

A ETARI da unidade 2 (Figura 13) é responsável pelo tratamento das águas residuais provenientes das máquinas de polir e de retificar. Esta ETARI é composta pelos seguintes equipamentos:

- ✓ 2 Tanques de receção de efluente bruto com 2 *big bags*;
- ✓ 2 Decantadores;
- ✓ 1 Silo de armazenamento da água tratada;
- ✓ 1 Tanque de homogeneização de lamas;
- ✓ 1 Filtro de prensas (com descarga manual);
- ✓ Outros equipamentos mecânicos.

Para o tratamento das águas residuais nesta ETARI é utilizado o coagulante PRODUTO B e o floculante AMBIFLOC 2016 ZJO/AN.



**Figura 13.** ETARI da unidade 2.

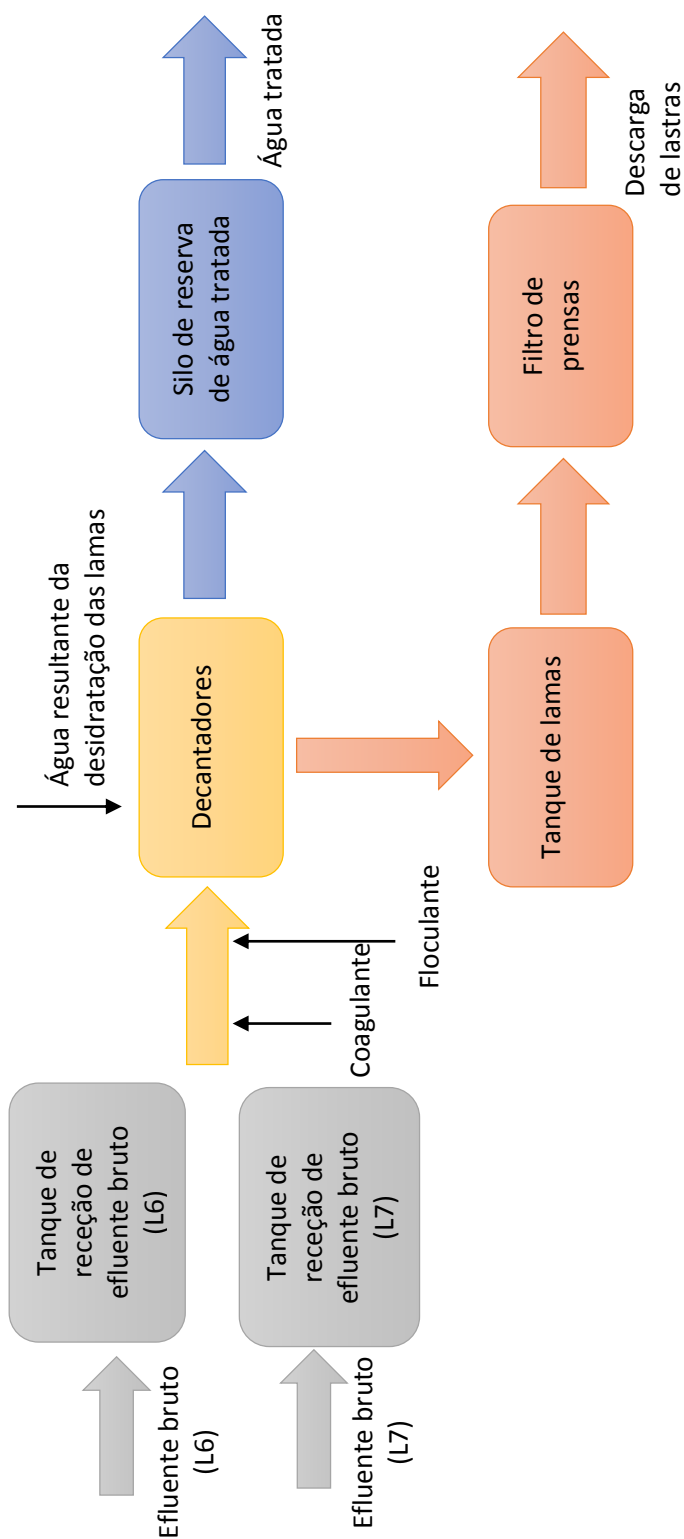
As águas residuais são encaminhadas para os dois tanques de receção de efluente bruto, os tanques 6 e 7 que recebem respetivamente o efluente proveniente das linhas 6 (retificação) e 7 (retificação mais polimento). Os tanques possuem, cada um, um *big bag* (trocados duas vezes por semana) com a função de filtros para a retenção de sólidos, e possuem ainda bombas que auxiliam a bombagem e o transporte da água residual até aos decantadores.

Durante o processo do efluente dos tanques para os decantadores, são injetados em linha o coagulante (PRODUTO B – corretor de pH) e depois o floculante (AMBIFLOC 2016 ZJO/AN). Os decantadores possuem uma caleira responsável por rececionar o efluente, resultante das duas linhas, distribuindo-o pelos dois decantadores. Nos decantadores, as partículas floculadas

sedimentam formando as lamas as quais são descarregadas para o tanque de receção de lamas, onde é mantida agitação para a sua homogeneização. Posteriormente, as lamas são bombeadas para o filtro de prensas onde são desidratadas formando as lastras, sendo que, a água resultante é encaminhada para a caleira de distribuição, e as lastras são descarregadas na tulha para serem valorizadas no exterior. Na parte superior do decantador, permanece a água tratada, a qual é depois encaminhada para o silo de reserva da água tratada para posterior reutilização.

Em certos produtos é necessário a introdução de água limpa no sistema, a qual resulta num posterior excedente de água tratada, a qual é encaminhada para o tanque de receção de efluente bruto da ETARI da unidade 3, passando por um novo processo de tratamento.

Este sistema de tratamento de água funciona em circuito fechado (Figura 14), uma vez que a água tratada resultante do processo de tratamento é reutilizada no processo de fabrico.



**Figura 14.** Esquema de funcionamento da ETARI da unidade 2.

### **Funcionamento da ETARI da unidade 3**

A ETARI da unidade 3 (Figura 15) é responsável pelo tratamento das águas residuais resultantes da zona de atomização, dos laboratórios e das linhas de esmaltação da unidade de produção 3, sendo também responsável pelo tratamento do excedente (*overflow*) da ETARI da unidade 2. A ETARI é composta pelos seguintes órgãos de tratamento:

- ✓ 2 Tanques de receção de efluente bruto;
- ✓ 2 Decantadores;
- ✓ 2 Tanques de reação;
- ✓ 1 Tanque de armazenamento da água tratada;
- ✓ 3 Tanques de homogeneização de lamas;
- ✓ 1 Filtro de prensas;
- ✓ Outros equipamentos mecânicos.

Para o tratamento das águas residuais nesta ETARI são utilizados os coagulantes AMBIFLOC RD4 e PRODUTO A (AMBIFLOC HN 1128) e o floculante AMBIFLOC 2045 ZJO/AN.



**Figura 15.** ETARI da unidade 3.

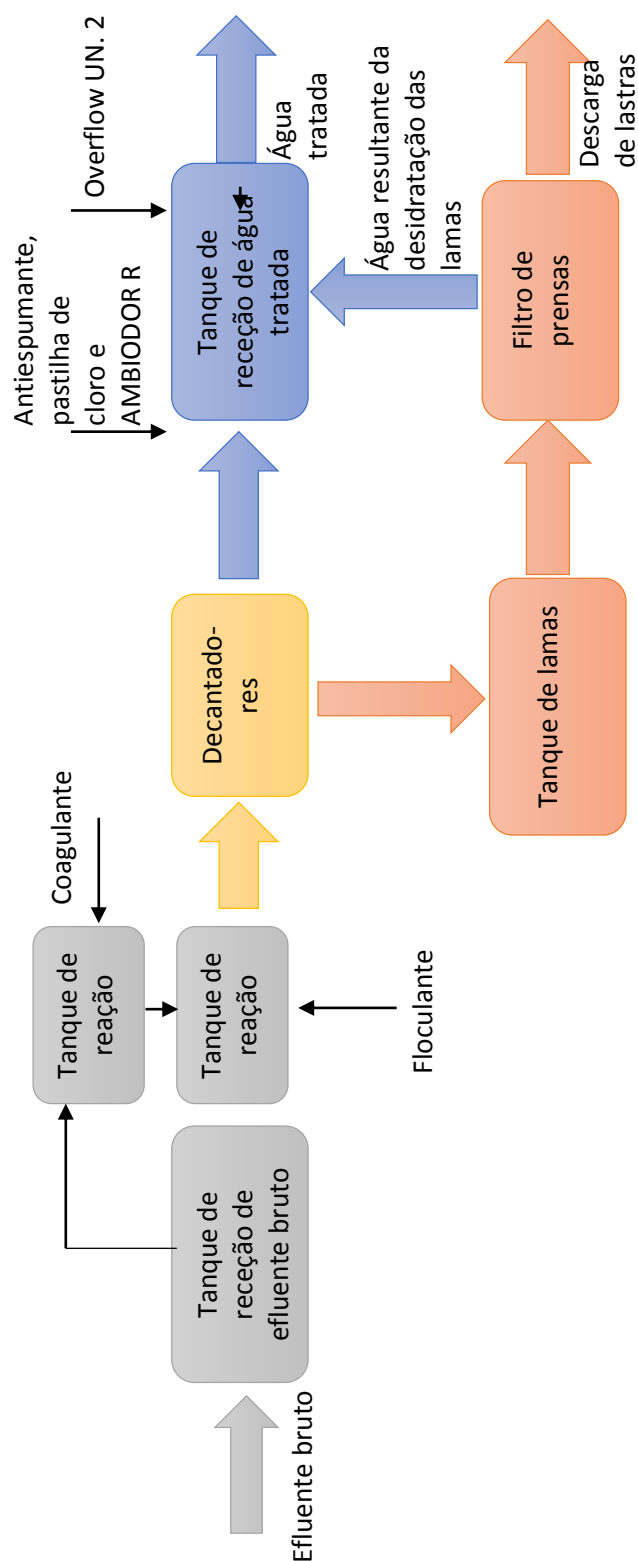
As águas residuais são direcionadas para os tanques de receção de efluente bruto que depois é bombeado para os tanques de reação, em que no primeiro são adicionados os coagulantes: PRODUTO A e depois o AMBIFLOC RD4, este último apenas é utilizado quando a ETARI recebe o excedente da ETARI da unidade 2 servindo para reduzir o pH. O efluente é depois encaminhado para o outro tanque de reação onde é adicionado o floculante (AMBIFLOC 2045 ZJO/AN). Depois de este processo estar concluído, o efluente é direcionado para os decantadores.

Nos decantadores, as partículas floculadas sedimentam formando as lamas que são descarregadas para os tanques de receção de lamas, onde é mantida a agitação para a sua homogeneização. Posteriormente, as lamas são bombeadas para o filtro de prensas onde são desidratadas, produzindo as lastras. A água resultante da desidratação é encaminhada para o tanque de receção de água tratada, e as lastras são descarregadas na tulha, as quais são reaproveitadas no processo de produção da pasta cerâmica.

Na parte superior do decantador, permanece a água tratada a qual é dirigida para o tanque de receção da água tratada para posterior reutilização. Com auxílio de uma bomba é mantida a oxigenação da água tratada. Quando há ocorrência de espumas no tanque, torna-se necessário a adição direta de ANTI-ESPUMANTE CR e, quando há falta de produção, é essencial utilizar no tanque de água tratada uma pastilha de cloro (AMBIPISCINA 90T) para evitar a formação de microrganismos, e para eliminar os possíveis odores existentes adiciona-se AMBIODOR R.

Este sistema de tratamento de água funciona em circuito fechado (Figura 16), uma vez que a água tratada resultante do processo de tratamento é reutilizada no processo de fabrico.





**Figura 16.** Esquema de funcionamento da ETARI da unidade 3.

### **Funcionamento da ETARI da unidade 4**

A ETARI da unidade 4 (Figura 17) é responsável por tratar as águas residuais provenientes das linhas de retificação, corte e polimento. Esta ETARI é composta pelos seguintes equipamentos:

- ✓ 1 Tanque de receção de efluente bruto;
- ✓ 2 Decantadores;
- ✓ 1 Silo de armazenamento da água tratada;
- ✓ 1 Tanque de homogeneização de lamas;
- ✓ 1 Filtro de prensas;
- ✓ Outros equipamentos mecânicos.

Para o tratamento das águas residuais nesta ETARI é utilizado o coagulante PRODUTO B e o floculante AMBIFLOC 2016 ZJO/AN.



**Figura 17.** ETARI unidade 4.

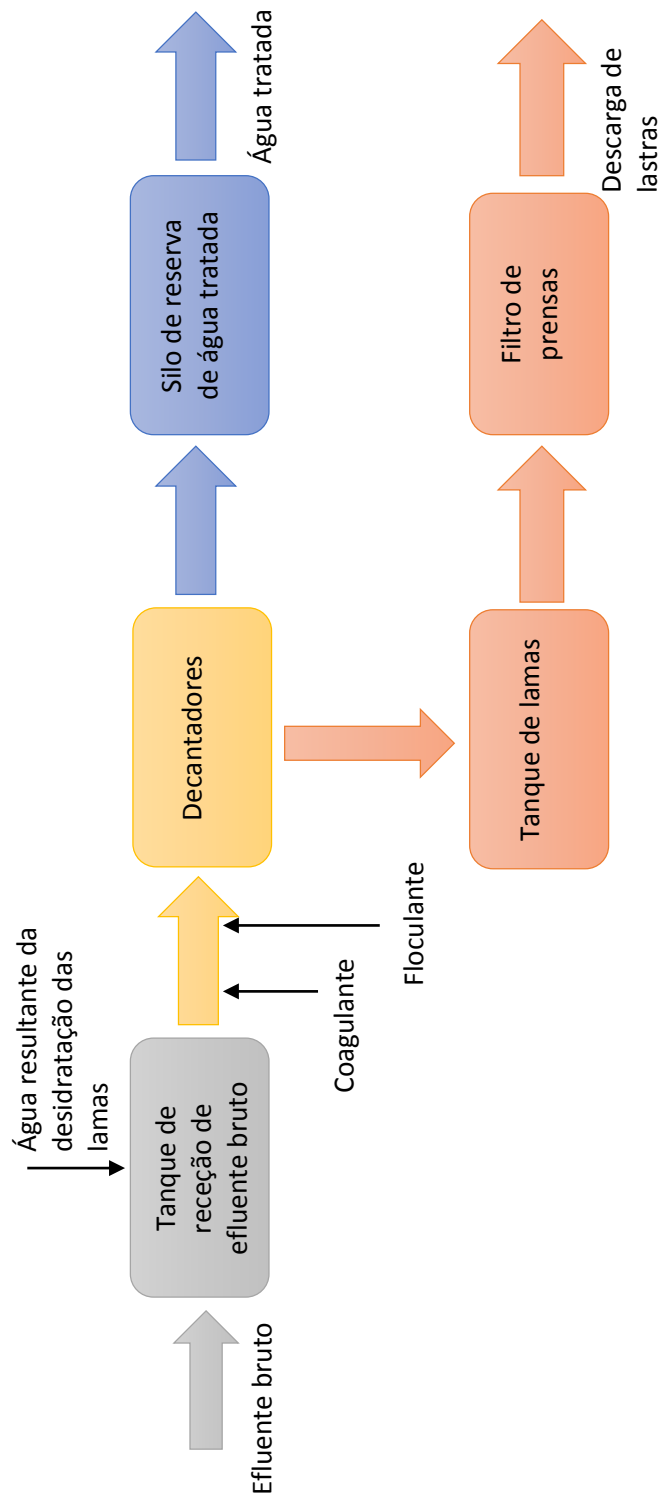
As águas residuais são encaminhadas para o tanque de receção de efluente bruto sendo depois bombeadas para os decantadores. Durante o transporte da água residual para os decantadores, é adicionado o floculante (AMBIFLOC 2016 ZJO/AN) e o coagulante (PRODUTO B), este apenas é injetado em linha quando as máquinas do processo de fabrico estão apenas a retificar, pois a água residual fica com um pH muito elevado sendo necessário baixá-lo.

Nos decantadores, as partículas floculadas sedimentam originando as lamas, as quais são descarregadas no tanque de receção de lamas, onde é mantida a agitação para a sua

homogeneização. Seguidamente, com recurso a uma bomba as lamas são encaminhadas para o filtro de prensas onde são desidratadas, formando as lastras. A água resultante da desidratação das lamas é dirigida para o tanque de receção do efluente bruto, sofrendo novo processo de tratamento. As lastras são descarregadas na tulha sendo valorizadas no exterior.

A água tratada proveniente dos decantadores é encaminhada para o silo de reserva da água tratada para posterior reutilização.

Este sistema de tratamento de água funciona em circuito fechado (Figura 18), uma vez que a água tratada resultante do processo de tratamento é reutilizada no processo de fabrico.



**Figura 18.** Esquema de funcionamento da ETARI da unidade 4.

### **Funcionamento da ETARI da unidade 5**

A ETARI da unidade 5 (Figura 19) é responsável pelo tratamento das águas residuais resultantes das máquinas de retificação de monoporosa (provenientes da unidade 1), máquinas de corte, máquina de rodapé e decoração. A ETARI é composta pelos seguintes órgãos de tratamento:

- ✓ 1 Tanque de receção de efluente bruto com 1 *big bag*;
- ✓ 1 Decantador;
- ✓ 1 Silo de armazenamento da água tratada;
- ✓ 1 Tanque de homogeneização de lamas;
- ✓ 1 Tanque de excedente de água tratada;
- ✓ 1 Filtro de prensas;
- ✓ Outros equipamentos mecânicos.

Para o tratamento das águas residuais nesta ETARI é utilizado o coagulante PRODUTO B (como corretor de pH) e o floculante AMBIFLOC 2016 ZJO/AN.



**Figura 19.** ETARI da unidade 5.

As águas residuais das linhas de retificação são dirigidas para o tanque de receção do efluente bruto que está equipado por um *big bag*, que serve como filtro para a retenção dos sólidos resultantes do processo, e por uma bomba que bombeia a água residual para o decantador. A água residual

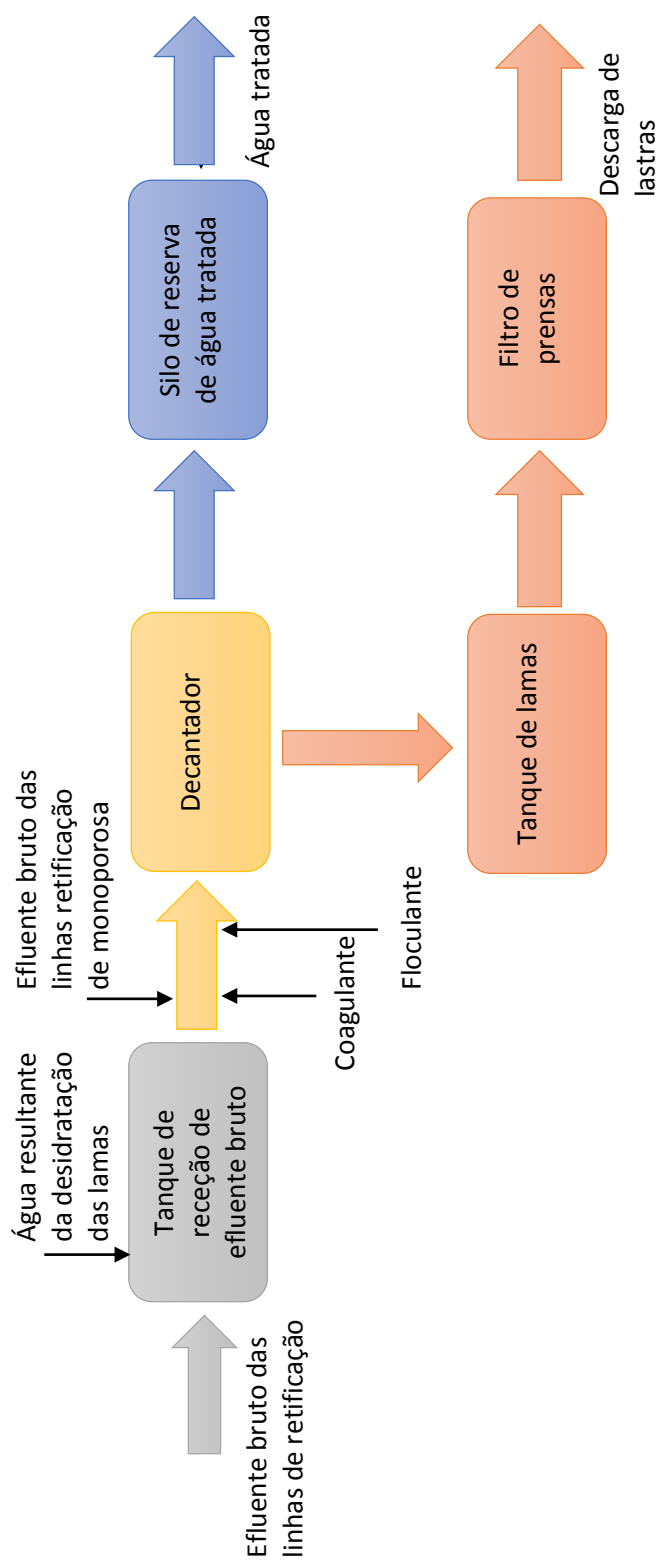
proveniente das linhas de retificação de monoporosa segue diretamente para as tubagens que são encaminhadas para o decantador. Nestas tubagens são injetados um linha o coagulante (PRODUTO B) e o floculante (AMBIFLOC 2016 ZJO/AN).

No decantador, ocorre a sedimentação das partículas floculadas formando as lamas, que são depois descarregadas para o tanque de receção de lamas, onde é mantida a agitação para a sua homogeneização. Seguidamente, as lamas são bombeadas para o filtro de prensas onde são desidratadas, originando as lastras que são armazenadas na tulha para valorização no exterior. A água resultante da desidratação é encaminhada para o tanque de receção do efluente bruto, sofrendo novamente o processo de tratamento.

A água tratada proveniente do decantador é encaminhada para o silo de reserva de água tratada para posterior reutilização.

Quando há um excedente de água tratada nesta ETAR, ela é encaminhada para a ETAR da unidade 1 e armazenada no silo de reserva aí existente.

Este sistema de tratamento de água funciona em circuito fechado (Figura 20), uma vez que a água tratada resultante do processo de tratamento é reutilizada no processo de fabrico dos produtos.



**Figura 20.** Esquema de funcionamento da ETARI da unidade 5.

#### 4.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS

Como complemento ao objetivo principal, foi realizada uma caracterização físico-química aos nove pontos de água da empresa: água residual (AR) tratada proveniente das cinco ETARÍ's, à água dos três furos (furo da unidade 1, furo da unidade 2 e furo da unidade 3) e à água do poço. A realização destas análises tem como objetivo verificar em que parâmetros há diferenças e se essas são significativas nas várias amostras das águas.

Como a empresa não dispõe de laboratórios equipados para a elaboração deste tipo de análises, tanto a recolha das amostras de água como realização das respetivas análises foram efetuadas por uma empresa externa acreditada, a *SNF/Ambientágua – Técnicas de Tratamento de Águas, Lda*, localizada no distrito do Porto.

Alguns dos parâmetros analisados resultaram de pesquisas realizadas previamente em estudos similares, e os restantes foram sugeridos pela empresa que se encarregou da sua análise. Os parâmetros analisados às várias amostras de água encontram-se discriminados na Tabela 3, assim como o método de ensaio utilizado para cada parâmetro.



**Tabela 3.** Parâmetros físico-químicos analisados às águas residuais tratadas, águas dos furos e água do poço, bem como os métodos de ensaio utilizados.

| Parâmetro   | Águas residuais (AR) tratadas | Água dos furos | Água do poço | Método de ensaio                           |
|---|-------------------------------|----------------|--------------|--|
| pH  | ✓                             | ✓              | ✓            | Potenciometria                             |
| Condutividade a 20°C (µS/cm)                              | ✓                             | ✓              | ✓            | Conduktimetria                             |
| Sólidos Suspensos Totais – SST (mg/L)                     | ✓                             |                |              | Gravimetria                                |
| Carência Química de Oxigénio – CQO (mg/L O <sub>2</sub> ) | ✓                             |                |              | EAM (Espectroscopia de Absorção Molecular) |
| Oxidabilidade ao Permanganato (mg/ O <sub>2</sub> )       |                               | ✓              | ✓            | Volumetria                                 |
| Cálcio (mg/L Ca)  | ✓                             | ✓              | ✓            | EAA (Espectroscopia de Absorção Atómica)   |
| Magnésio (mg/L Mg)  | ✓                             | ✓              | ✓            | EAA  |
| Chumbo (mg/L Pb)  | ✓                             | ✓              | ✓            | EAA  |
| Potássio (mg/L K)   | ✓                             | ✓              | ✓            | EAA  |
| Sódio total (mg/L Na)                                     | ✓                             | ✓              | ✓            | EAA  |
| Zinco (mg/L Zn)   | ✓                             | ✓              | ✓            | EAA  |
| Alumínio (mg/L Al)  | ✓                             | ✓              | ✓            | EAA  |
| Sulfatos (mg/L SO <sub>4</sub> )                          | ✓                             | ✓              | ✓            | EAM  |
| Alcalinidade total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )              | ✓                             | ✓              | ✓            | Volumetria                                 |

Na tabela seguinte são apresentados os resultados das análises efetuadas às águas residuais tratadas das várias ETAR's e das águas naturais subterrâneas (água dos três furos e água do poço). Os resultados obtidos que apresentam os valores na forma < X são inferiores ao limite de quantificação do método.

**Tabela 4.** Resultados das análises Físico-químicas realizadas aos pontos de água da empresa.

| Parâmetro                        | AR tratada da ETARI da unidade 1 | AR tratada da ETARI da unidade 2 | AR tratada da ETARI da unidade 3 | AR tratada da ETARI da unidade 4 | AR tratada da ETARI da unidade 5 | Água do furo da unidade 1 | Água do furo da unidade 2 | Água do furo da unidade 3 | Água do poço |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| pH                               | 7,70                             | 7,50                             | 7,90                             | 7,90                             | 9,10                             | 6,10                      | 6,80                      | 6,30                      | 5,10         |
| Condutividade a 20°C (µS/cm)     | 484                              | 2190                             | 814                              | 1590                             | 501                              | 165                       | 119                       | 86                        | 129          |
| Sólidos suspensos totais         | 20                               | 110                              | < 10                             | < 10                             | 38                               | -----                     | -----                     | -----                     | -----        |
| CQO (mg/L O <sub>2</sub> )       | 18                               | 30                               | 32                               | 18                               | 25                               | -----                     | -----                     | -----                     | -----        |
| Cálcio (mg/L Ca)                 | 48                               | 46                               | 19                               | 27                               | 68                               | 7,60                      | 5,60                      | 2,20                      | 5,10         |
| Magnésio (mg/L Mg)               | 3,10                             | 200                              | 34                               | 0,14                             | 1,90                             | 3,40                      | 2,60                      | 1,20                      | 3,70         |
| Chumbo (mg/L Pb)                 | < 0,40                           | < 0,40                           | < 0,40                           | < 0,40                           | < 0,40                           | < 0,40                    | < 0,40                    | < 0,40                    | < 0,40       |
| Potássio (mg/L K)                | 6,55                             | 11,70                            | 1,03                             | 8,68                             | 7,26                             | 5,92                      | 7,04                      | 6,49                      | 1,77         |
| Sódio total (mg/L Na)            | 46                               | 78                               | 100                              | 56                               | 27                               | 18                        | 11                        | 9,70                      | 11           |
| Zinco (mg/L Zn)                  | 0,36                             | < 0,05                           | 0,07                             | < 0,05                           | < 0,05                           | 2,40                      | 0,06                      | < 0,05                    | 0,13         |
| Alumínio (mg/L Al)               | 1,60                             | < 1,00                           | < 1,00                           | < 1,00                           | 3,30                             | < 1,00                    | < 1,00                    | < 1,00                    | < 1,00       |
| Sulfatos (mg/L SO <sub>4</sub> ) | 18                               | 22                               | 19                               | 19                               | 16                               | < 15                      | < 15                      | < 15                      | < 15         |
| Alcalinidade total (mg/L)        | 47                               | 23                               | 95                               | 46                               | 36                               | 37                        | 30                        | 15                        | < 5,00       |
| Oxidabilidade ao Permanganato    | -----                            | -----                            | -----                            | -----                            | -----                            | < 1,00                    | < 1,00                    | < 1,00                    | < 1,00       |

Relativamente à tabela dos resultados obtidos para todas as amostras de água, verifica-se que os parâmetros em que há maior discrepância de valores entre as águas residuais tratadas e as águas naturais subterrâneas são: a condutividade, a concentração de cálcio, de magnésio (águas das ETAR's das unidades 2, 3 e 4) e de sódio total e a alcalinidade total (principalmente água da ETAR da unidade 3).

Comparando os valores obtidos para as águas residuais tratadas e as águas subterrâneas naturais, pode-se verificar que em relação ao pH este varia apenas aproximadamente uma unidade de pH das águas residuais tratadas para as águas naturais subterrâneas, e todas elas apresentam pH muito próximo do neutro. Excetuando a água residual tratada da unidade 5 que apresenta um valor de pH muito elevado (9,10), talvez devido aos produtos utilizados nesta unidade de produção, e da água proveniente do poço que possui um valor de pH mais baixo (5,10).

A condutividade é mais elevada nas águas residuais tratadas do que nas águas naturais subterrâneas, verifica-se um valor muito elevado para as águas provenientes principalmente das ETAR's das unidades 2 e 4 (2190 e 1590  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respetivamente). A condutividade é uma medida que se baseia na capacidade de conduzir a corrente elétrica. Existem vários fatores que a influenciam, como o tipo de iões presentes na água e a sua concentração, a força iónica da água devido aos iões presentes na água e a temperatura. Neste caso, o fator que influenciou a grande diferença de condutividade verificada foi certamente o tipo e a concentração de iões existentes, devido à presença de floculante nas águas residuais tratadas, visto que a temperatura em que a condutividade foi determinada foi igual para todas as amostras.

A concentração em catiões cálcio varia consideravelmente das águas residuais tratadas para as águas naturais subterrâneas. A água residual tratada da unidade 5 é a que apresenta maior concentração de cálcio (68 mg/L Ca). Em relação à concentração de magnésio, esta é muito elevada na água residual tratada da unidade 2 (200 mg/L Mg), seguida da água residual da unidade 3 (34 mg/L Mg). A presença destes catiões metálicos conferem a dureza da água e a sua presença pode interferir na viscosidade e na tensão superficial da peça cerâmica.

Em relação ao chumbo, os valores obtidos são inferiores ao limite de quantificação do método tanto para as águas residuais tratadas como para as águas naturais subterrâneas. Para o potássio, os valores não são muito diferentes uns dos outros, embora o valor obtido da água residual tratada da unidade 2 (11,70 mg/L K) seja mais elevado do que dos restantes valores, ao contrário do valor da água residual tratada da unidade 3 que tem um valor muito baixo (1,03 mg/L K).

Para o sódio total, conclui-se que os valores obtidos das águas residuais tratadas são mais elevados do que das águas naturais subterrâneas, verificando-se um valor muito elevado na água residual tratada proveniente da ETAR da unidade 3 (100 mg/L Na). Relativamente ao zinco, os valores obtidos não são muito significativos, embora o furo da unidade 1 apresente uma concentração mais elevada em comparação com os restantes valores (2,40 mg/L Zn). Para o alumínio, os valores obtidos não são muito reveladores comparando as várias águas, embora a água residual tratada da unidade 5 apresente uma concentração mais elevada em comparação com os restantes valores. Os valores obtidos para os sulfatos são inferiores ao limite de quantificação do método para as águas subterrâneas naturais, mas nas águas residuais tratadas a concentração de sulfatos já apresenta valores ligeiramente mais altos.

Em relação à alcalinidade total, os valores obtidos não são muito significativos comparando as várias águas, embora a água residual tratada da unidade 3 apresente uma concentração mais elevada em comparação com os restantes valores (95 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ). Este parâmetro é representado pela presença de iões hidróxido, carbonato e bicarbonato, os quais estão em maior concentração na água tratada da ETAR da unidade 3. Para quantificar e expressar a dureza e a alcalinidade, bem como as suas concentrações na água é utilizado o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). As águas podem ser classificadas de acordo com o seu grau de dureza conforme a Tabela 5.

**Tabela 5.** Classificação da água quanto à sua dureza (Martins, 2001).

|                        |                   |                                |
|------------------------|-------------------|--------------------------------|
| <b>ÁGUA MOLE</b>       | Dureza inferior a | 50 mg/L $\text{CaCO}_3$        |
| <b>ÁGUA MODERADA</b>   | Dureza entre      | 50 e 150 mg/L $\text{CaCO}_3$  |
| <b>ÁGUA DURA</b>       | Dureza entre      | 150 e 300 mg/L $\text{CaCO}_3$ |
| <b>ÁGUA MUITO DURA</b> | Dureza superior a | 300 mg/L $\text{CaCO}_3$       |

Conforme a Tabela 5, pode-se concluir que tanto as águas residuais tratadas como as águas naturais subterrâneas são consideradas moles, ou seja, apresenta um valor de alcalinidade inferior a 50 mg/L  $\text{CaCO}_3$  exceto a água residual tratada da ETAR da unidade 3 que já é considerada uma água moderada, pois o valor de alcalinidade está compreendido entre 50 e 150 mg/L  $\text{CaCO}_3$ .

Em relação à análise efetuada às características tanto da água subterrânea natural como da água residual tratada, averigua-se que não se podem tirar conclusões concretas sobre se esta água pode ou não ser utilizada diretamente no processo de fabrico, pois era necessário um estudo mais pormenorizado para se conhecer quais as características que a água pode ter e que podem influenciar a qualidade do produto final. Considera-se então que, deviam ser realizadas análises

regulares à água para monitorizar as suas características e assim, consoante as alterações da água verificar as alterações causadas no produto final.

#### **4.4. EFEITOS DA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA TRATADA NAS ETARÍ'S NA PASTA E NO VIDRO CERÂMICO**

De maneira a verificar qual o efeito da água tratada proveniente das ETARÍ's nas características da pasta e do vidro cerâmico, foi realizado um estudo deste efeito através de ensaios laboratoriais que serão descritos seguidamente.

##### **4.4.1. REOLOGIA DAS SUSPENSÕES CERÂMICAS**

A reologia é uma ciência com início no século XX e o seu principal propósito é o estudo das deformações e do escoamento dos materiais. O principal objetivo desta ciência consiste no estudo do comportamento mecânico da matéria, ou seja, no estabelecimento de relações entre as forças aplicadas e as deformações resultantes (Rodrigues, 1994).

As suspensões são entendidas como misturas do tipo sólido-líquido, originando um conjunto de partículas distribuídas e forma relativamente uniforme através de um meio líquido, sem que ocorra uma dissolução significativa do material particulado em função do tempo. Quando se adiciona uma partícula a um fluido, este atua como uma barreira ao escoamento do líquido. Este obstáculo é maior quanto maior for o número de partículas na suspensão (Pandolfelli et al, 2000).

A reologia das suspensões é entendida como a forma como estes materiais respondem a uma tensão ou deformação aplicada. Um material pode ser caracterizado por dois tipos de comportamento reológico: como um sólido, que apresenta um comportamento elástico caso a deformação seja totalmente recuperada após a remoção da tensão aplicada, ou como um líquido, que apresenta uma resposta viscosa, caso ele ecoe sob ação de uma tensão muito pequena (Cruz, 1996).

Geralmente, as propriedades reológicas de uma suspensão são dependentes de fatores como a viscosidade do meio, a concentração de sólidos, a densidade, a forma, o tamanho e a distribuição de tamanho das partículas e, por último o grau de estabilidade da suspensão (Cruz, 1996). Neste trabalho laboratorial apenas serão determinados os dois fatores mais importantes, a viscosidade e a densidade da suspensão.

Muitas técnicas de fabrico dos produtos cerâmicos utilizam suspensões de partículas. Portanto, é essencial que as suas propriedades reológicas, especialmente a viscosidade e a densidade, sejam

conhecidas e controladas, garantindo assim as características e a reprodutibilidade do processo, bem como o desempenho final do produto.

#### 4.4.2. PRODUÇÃO DA PASTA CERÂMICA E DO VIDRO

A realização destes ensaios foi efetuada na produção da pasta cerâmica e do vidro (Figura 21). Foram realizados em laboratório quatro ensaios, para cada material, com água do furo e com água tratada proveniente da ETARI da unidade 2. Os quatro ensaios realizados consistiram em utilizar 100% de água do furo (água limpa), 100% água tratada da ETARI, 50% de água do furo mais 50% de água tratada e, por último, 70% de água do furo mais 30% de água tratada. Para a realização deste teste foi utilizado um pó neutro atomizado para a produção da pasta e de vidro seco para produção do vidro.



**Figura 21.** Peça obtida através da pasta cerâmica (à esquerda) e peça obtida através do vidro (à direita).

##### 4.4.2.1. DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE

A viscosidade é a principal propriedade reológica de um fluido (Pereira, 2001), é caracterizada como uma medida da fluidez da pasta cerâmica líquida, ou seja a sua resistência ao escoamento (Funceramics, 2014).

Para determinar a viscosidade da pasta cerâmica e do vidro, recorreu-se a um copo de medição de viscosidade adaptado ao Copo de Ford, o qual se baseia num escoamento sob pressão baseado na medição do tempo necessário para fazer fluir um determinado volume através de um orifício (Pereira, 2001). O Copo de Ford (Figura 22) é um viscosímetro quando a sua utilização se destina à determinação da viscosidade cinemática (viscosidade está dependente da gravidade), de fluidos a 25 °C. É um método simples, rápido e que requer um pequeno volume de amostra, pelo que é muito utilizado industrialmente (UNICAMP, [s.d.]).



**Figura 22.** Copo de Ford (Paraná - Governo do Estado, [s.d.]).

### **Procedimento**

A metodologia aplicada consistiu em utilizar, aproximadamente, 400g do pó seco atomizado (para a pasta cerâmica) ou 400g de vidro seco e 200mL de água. Para a produção do vidro este tem que ser seco previamente, pois encontra-se no estado líquido. Tanto o pó atomizado como o vidro juntamente com a água são adicionados a um recipiente, que representa o moinho de bolas em laboratório, que é levado a um agitador mecânico durante quatro minutos, com o objetivo de obter uma suspensão homogênea.

A viscosidade foi determinada por um copo de medição de viscosidade adaptado ao Copo de Ford, que é um recipiente com capacidade de 100mL de amostra e que tem um orifício na parte inferior por onde o fluido escoar. Inicialmente, começou-se por fechar o orifício com o dedo e preencher completamente o Copo de Ford com a pasta e/vidro. De seguida, retirar o dedo do orifício, acionando simultaneamente o cronómetro. Assim, foi possível determinar o tempo que a pasta e/ou vidro levaram para escoar pelo equipamento.

### **Resultados obtidos**

Os valores da viscosidade obtidos para a pasta cerâmica estão mencionados na Tabela 6.

**Tabela 6.** Resultados da viscosidade na produção da pasta cerâmica.

| Ensaio    | Massa de pó utilizada (g) | Volume de água utilizado (mL)                  | Viscosidade (s) |
|-----------|---------------------------|--|-----------------|
| 1º Ensaio | 400                       | 200mL de água do furo                          | 16,17           |
| 2º Ensaio | 400                       | 200mL de água tratada da ETARI                 | 20,01           |
| 3º Ensaio | 400                       | 100mL de água do furo + 100mL de água da ETARI | 17,37           |
| 4º Ensaio | 400                       | 140mL de água do furo + 60mL de água da ETARI  | 17,01           |

Os valores da viscosidade obtidos para o vidro estão mencionados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Resultados da viscosidade na produção do vidro.

| Ensaio    | Massa de vidro utilizada (g) | Volume de água utilizado (mL)                  | Viscosidade (s) |
|-----------|------------------------------|--|-----------------|
| 1º Ensaio | 400                          | 200mL de água do furo                          | 17,92           |
| 2º Ensaio | 400                          | 200mL de água tratada da ETARI                 | 18,37           |
| 3º Ensaio | 400                          | 100mL de água do furo + 100mL de água da ETARI | 17,40           |
| 4º Ensaio | 400                          | 140mL de água do furo + 60mL de água da ETARI  | 16,91           |

### **Discussão dos resultados**

Através da análise da Tabela 6, verifica-se que o valor da viscosidade mais baixo foi o do ensaio 1 (16,17 s), em que se utiliza apenas água do furo, e aquele que é mais elevado é o ensaio 2 (20,01 s), onde é usada apenas água tratada da ETARI.

Relativamente à produção de pasta cerâmica, é possível concluir que a origem da água não tem influência na sua produção. Contudo, não se deve utilizar só água tratada na produção da pasta, pois o valor da viscosidade obtido varia ligeiramente dos restantes. A adição de apenas água tratada proveniente da ETARI à pasta poderia desencadear defeitos na peça cerâmica. As diferenças nos



valores obtidos da viscosidade relativamente à água do furo para a água da ETARI pode dever-se ao facto de a água tratada apresentar uma maior concentração de sólidos, pois quanto maior o valor da viscosidade maior é o número de partículas na suspensão.

Analisando a Tabela 7, o valor de viscosidade verificado mais baixo foi o do ensaio 4 (16,91 s), em que se utiliza 30% de água tratada da ETARI mais 70% de água limpa do furo. E, o valor mais elevado foi o do ensaio 2 (18,37 s), tal como se verificou na pasta cerâmica.

Conclui-se que, tal como aconteceu na produção da pasta cerâmica, também não se verificaram diferenças muito significativas nos valores da viscosidade do vidro.

#### **4.4.2.2. DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE**

A densidade indica-nos qual a quantidade de sólidos que estão presentes na suspensão (Funceramics, 2014). Tal como a viscosidade, a densidade é um dos fatores mais importantes das propriedades reológicas de uma suspensão.

##### **Procedimento**

A metodologia aplicada para determinar a densidade consistiu em utilizar, aproximadamente, 400g do pó seco atomizado (para a pasta cerâmica) ou 400g de vidro seco e 200mL de água. Para a produção do vidro este tem que ser seco previamente, pois encontra-se no estado líquido. Tanto o pó atomizado como o vidro juntamente com a água são adicionados a um recipiente, que representa o moinho de bolas em laboratório, que é levado a um agitador mecânico durante quatro minutos, com o objetivo de obter uma suspensão homogénea.

A densidade da suspensão foi determinada utilizando um picnómetro de corpo metálico de volume igual a 100mL (Figura 23). A densidade foi determinada com a adição da amostra ao picnómetro, e de seguida obteve-se a sua massa através de uma balança digital, sabendo que a massa do picnómetro vazio é 200g e, a partir daí calcula-se a densidade da amostra através da seguinte equação:

Equação 1:

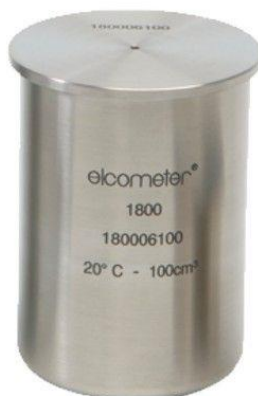
$$\rho = \frac{m \text{ (g)}}{V \text{ (L)}}$$

Onde:

$\rho$  = densidade (g/L)

m = massa da amostra (g)

V = volume da amostra (L)



**Figura 23.** Picnómetro (Panambra Zwick, [s.d.]).

### Resultados obtidos

Os valores da densidade obtidos para a pasta cerâmica estão mencionados na Tabela 8.

**Tabela 8.** Resultados da densidade na produção da pasta cerâmica.

| Ensaio    | Massa de pó utilizada (g) | Volume de água utilizado (mL)                  | Densidade (g/L) |
|-----------|---------------------------|--|-----------------|
| 1º Ensaio | 400                       | 200mL de água do furo                          | 1672            |
| 2º Ensaio | 400                       | 200mL de água tratada da ETARI                 | 1634            |
| 3º Ensaio | 400                       | 100mL de água do furo + 100mL de água da ETARI | 1631            |
| 4º Ensaio | 400                       | 140mL de água do furo + 60mL de água da ETARI  | 1632            |

Os valores da densidade obtidos para o vidro estão mencionados na Tabela 9.

**Tabela 9.** Resultados da densidade na produção do vidro.

| Ensaio    | Massa de vidro utilizada (g) | Volume de água utilizado (mL)                  | Densidade (g/L) |
|-----------|------------------------------|--|-----------------|
| 1º Ensaio | 400                          | 200mL de água do furo                          | 1757            |
| 2º Ensaio | 400                          | 200mL de água tratada da ETARI                 | 1734            |
| 3º Ensaio | 400                          | 100mL de água do furo + 100mL de água da ETARI | 1740            |
| 4º Ensaio | 400                          | 140mL de água do furo + 60mL de água da ETARI  | 1728            |

### **Discussão dos resultados**

Através da análise da Tabela 8, verifica-se que o valor de densidade mais baixo foi o do ensaio 3 (1631 g/L), em que foi utilizada 50% de água limpa do furo mais 50% de água tratada proveniente da ETARI. E, o valor da densidade mais elevado foi o do ensaio 1 (1672 g/L), onde apenas foi utilizada água limpa do furo.

Relativamente à produção da pasta cerâmica, é possível concluir que tal como aconteceu na determinação da viscosidade, a origem da água não tem influência na sua produção, pois os valores de densidade não são muito díspares entre si. Contudo, tal como já foi referido e pelas razões apresentadas, não se deve utilizar só água tratada na produção da pasta cerâmica.

Pela Tabela 9, verifica-se que o valor da densidade mais baixo foi o do 4º ensaio (1728 g/L), em que foi utilizada 70% de água limpa do furo mais 30% de água tratada da ETARI. O ensaio em que o valor da densidade foi mais elevado é o do ensaio 1 (1757 g/L), onde foi utilizada apenas água limpa do furo.

Conclui-se que, tal como aconteceu na produção da pasta cerâmica, também não se verificaram diferenças significativas no vidro.

### **Conclusões**

Embora a água não tenha tido influência nestes ensaios, tanto na determinação da viscosidade como da densidade, não significa que a água tratada possa ser sempre usada na produção de pasta e do vidro. Durante o processo, tanto no fabrico dos produtos como no tratamento da água, a água

passa por diversas fases, tipo um ciclo, em que são sempre adicionados produtos químicos, ou seja, a cada ciclo que passa a água fica com mais produtos químicos, o que a torna inconstante. Esta instabilidade da água tratada pode influenciar os valores da viscosidade, alterando a qualidade do produto pretendido. A utilização de 30% de água tratada diretamente no processo de fabrico, já era muito benéfica não só para a poupança da água do furo mas também passaria a não haver tanto excedente de água nas ETARÍ's. No entanto, deveriam ser realizados mais ensaios em várias alturas do dia e em várias alturas do ano, uma vez que, como já referido, as características da água tratada não são sempre constantes.

## **CAPÍTULO 5 – SUGESTÕES DE MELHORIAS PARA UM MELHOR REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA**

---

A implementação de medidas específicas de racionalização do uso da água no setor industrial traduz-se principalmente em benefícios económicos que permitem aumentar a eficiência produtiva, e em benefícios ambientais, como a redução do consumo de água, a redução do volume de efluentes produzidos e ainda a redução do consumo de energia, de produtos químicos, a otimização de processos e a redução de despesas com a manutenção dos equipamentos (Hespanhol et al, 2005).

Como o setor cerâmico é um grande consumidor de água e produtor de águas residuais, devem ser adotadas boas práticas e medidas preventivas no consumo de água e produção de águas residuais, que contribuirão para uma produção mais limpa neste setor. Na Tabela 10 destacam-se algumas medidas a aplicar bem como as respetivas ações a implementar no setor cerâmico para uma melhor gestão da água.

**Tabela 10.** Medidas e respetivas ações a implementar no setor cerâmico para uma melhor gestão da água (AEP - Associação Empresarial de Portugal, 2011).

| Medidas a aplicar   | Ações a implementar  |
|---|--|
| <b>Instalação de contadores/caudalímetros</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Instalar contadores ou caudalímetros para quantificar o caudal de água consumida;</li> <li>✓ Registrar a leitura de dados frequentemente para determinar a quantidade de água consumida e a quantidade de águas residuais geradas e promover a redução do consumo.</li> </ul>   |
| <b>Identificação e prevenção das fugas de água a nível das tubagens e das respetivas juntas, bem como dos diferentes dispositivos de utilização de água</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Elaborar um plano de manutenção preventiva com inspeções periódicas às instalações hidráulicas e equipamentos;</li> <li>✓ Sempre que necessário substituir peças hidráulicas em toda a instalação e equipamentos;</li> <li>✓ Desenvolver instruções que sensibilizem todos os colaboradores para a identificação e sinalização de fugas.</li> </ul>   |
| <b>Análise do processo de produção e otimização do consumo de água</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Determinar o consumo de água por operação através de um balanço, onde se quantifiquem entradas e saídas de água;</li> <li>✓ Instalar equipamento controlador de caudal e válvulas automáticas de paragem em máquinas quando em processo contínuo;</li> <li>✓ Instalar controladores automáticos de caudal de água;</li> <li>✓ Verificar se há a possibilidade de combinar diferentes tratamentos num único processo;</li> <li>✓ Ponderar a reutilização de água de refrigeração como água de processo (possibilitar também a recuperação de calor);</li> </ul>                                |
| <b>Instalação de máquinas e equipamentos de baixo consumo de água</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Aquisição de máquinas/equipamentos que envolvam o consumo de água, optar por equipamentos que sejam mais eficientes, ou seja, que permitam um menor consumo de água;</li> <li>✓ Relativamente às máquinas/equipamentos já existentes, instalar válvulas, sensores e outros tipos de dispositivos que permitam controlar o consumo de água e que não possibilitem exceder a quantidade necessária para a execução da função.</li> </ul>  |
| <b>Redução do consumo de água e produção de águas residuais nas operações de lavagem</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Estabelecer e implementar tempos nas operações de lavagem;</li> <li>✓ Fechar as saídas de água na operação de lavagem;</li> <li>✓ Utilizar diversas lavagens com quantidade reduzida de água, em vez de uma única lavagem com grande quantidade de água;</li> <li>✓ Reutilizar as águas de lavagem, sempre que possível;</li> <li>✓ Evitar a utilização de água potável em operações de limpeza das instalações e equipamentos;</li> <li>✓ Sempre que possível optar por processos de limpeza a seco;</li> <li>✓ Instalar um sistema de alta pressão para os processos de lavagem.</li> </ul> |
| <b>Redução do consumo de água e produção de águas residuais nas operações de refrigeração</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recircular a água no próprio equipamento, por meio de sistema de refrigeração em circuito fechado;</li> <li>✓ Reutilizar a água de refrigeração em processos que não requeiram água potável;</li> <li>✓ Sempre que a água proveniente de sistemas de refrigeração não circule em circuito fechado, pode ser aproveitada atendendo ao seu conteúdo energético.</li> </ul>  |

Relativamente às medidas acima discriminadas, algumas delas podem ser adotadas na *Revigrés*, as quais se destacam:

- ✓ Em todas as unidades de produção podem ser instalados contadores/caudalímetros, de maneira a quantificar a quantidade de água consumida e assim promover a redução do seu consumo;
- ✓ Na empresa também pode ser elaborado um estudo de identificação das fugas de água que as tubagens podem ter e, conseqüentemente proceder à substituição das peças danificadas/gastas, se estas existirem;
- ✓ Em toda a unidade fabril, pode ser elaborada uma análise do processo de produção e otimização do consumo de água. Com a aplicação desta medida, devem ser determinados os consumos de água por unidade de produção onde se quantificassem as entradas e saídas de água, ou seja, a elaboração de um balanço;
- ✓ Relativamente às máquinas/equipamentos já existentes, em todas as unidades de produção, devem ser instaladas válvulas, sensores e outros tipos de dispositivos que permitam controlar o consumo de água e que não possibilitem exceder a quantidade necessária para a execução da função;
- ✓ Na unidade 1 há possibilidade de utilizar água da ETARI da unidade 1 para lavagens, como outrora já aconteceu. É necessário instalar as tubagens/canalização e uma sensibilidade por parte dos trabalhadores para saberem onde se utiliza a água da ETARI e a do furo;
- ✓ Nas lavagens dos tapetes das seis linhas de produção da unidade 2 pode ser utilizada água da ETARI se houvesse canalização para esse efeito;
- ✓ O excedente obtido pela ETARI da unidade 4 pode ser encaminhado para o tanque de efluente tratado da ETARI da unidade 1, através da instalação das tubagens necessárias;
- ✓ Na unidade 5 pode ser utilizada água da ETARI da unidade 1 (as canalizações existem, mas não estão completas).

A implementação destas medidas conduz à racionalização do consumo de água traduzindo-se em benefícios ambientais, financeiros e sociais quantificáveis, que serão descritos seguidamente:

→ Benefícios ambientais:

- ✓ Racionalização do consumo de água;
- ✓ Redução da quantidade de águas residuais produzidas;
- ✓ Redução de consumo de recursos naturais (essencialmente água) e de energia;
- ✓ Redução dos impactes ambientais originados pelas fugas de água.

→ Benefícios económicos:

- ✓ Racionalização do consumo de água e consequente redução do custo de abastecimento e de descarga de águas residuais;
- ✓ Redução do custo de abastecimento de água;
- ✓ Aumento da competitividade;
- ✓ Redução do custo de captação, de abastecimento, de tratamento de águas residuais e de distribuição de água;
- ✓ Redução dos custos energéticos.

→ Benefícios sociais:

- ✓ Oportunidade de negócio para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos;
- ✓ Ampliação na geração de empregos diretos e indiretos;
- ✓ Melhoria da imagem do setor produtivo junto da opinião pública, com o reconhecimento de empresas socialmente responsáveis.



## CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVA DE TRABALHO FUTURO

---

O trabalho realizado consistiu no desenvolvimento de um projeto que envolveu a gestão da água na indústria, o seu tratamento e reintrodução no processo, de maneira a contribuir para a melhoria da gestão da água na instalação industrial. Para a realização deste projeto estavam envolvidas várias atividades as quais foram concretizadas.

Relativamente à análise das unidades de produção onde há consumo de água, verificou-se que todas as unidades utilizam água limpa, do furo e/ou do poço, diretamente como matéria-prima. Confirmou-se também que praticamente todas as unidades utilizam água tratada das ETARÍ's para as lavagens das instalações e dos equipamentos. Conclui-se que, ainda ocorre muito desperdício de água limpa onde poderia ser utilizada água tratada das ETARÍ's, e que há pouca sensibilidade por parte dos trabalhadores para a poupança da água.

Nas análises efetuadas à água dos furos, à água do poço e às águas residuais tratadas das ETARÍ's, verificou-se que não se podem tirar conclusões convincentes uma vez que, era necessário um estudo mais aprofundado para se determinar quais as características que a água pode ter que podem influenciar a qualidade do produto final. Deviam portanto, ser realizadas análises regulares à água para monitorizar as suas características e assim, consoante as alterações da água verificar as mudanças causadas no produto final.

Em relação aos ensaios realizados em laboratório na determinação da viscosidade e da densidade, tanto na produção da pasta como do vidro cerâmico, concluiu-se que não há qualquer inconveniente em utilizar água tratada da ETARÍ contudo, esta não deve ser utilizada na totalidade pois as suas características não são constantes. A utilização de 30% de água tratada já era muito benéfica não só para a poupança da água do furo mas também passaria a não haver tanto excedente de água nas ETARÍ's. No entanto, deviam ser realizados mais ensaios em várias alturas do dia e em várias alturas do ano, pois as características da água tratada não são sempre constantes e podem influenciar as características que o produto final deve ter.

Contudo, para uma melhor racionalização e poupança de água limpa, há várias medidas que a empresa pode adotar como por exemplo:

- ✓ Utilizar apenas água tratada na lavagem das instalações e equipamentos. Era necessária uma consciencialização por parte dos trabalhadores para saberem onde se utiliza água da ETARI e água do furo;
- ✓ Instalar canalização que abastece-se os tapetes das seis linhas de produção da unidade 2 com água proveniente da ETARI. Esta água iria ser apenas para a lavagens dos tapetes, pois nas lavagens é utilizada água limpa e não há necessidade para este gasto;
- ✓ O excedente obtido pela ETARI da unidade 4 poderia ser encaminhado para o tanque de efluente tratado da ETARI da unidade 1, uma vez que este armazena muita água, e assim ser utilizada quando fosse necessário;
- ✓ Nas máquinas e nos equipamentos já existentes deveriam ser instaladas válvulas, sensores e outros tipos de dispositivos, que permitam controlar o consumo de água e que não possibilitem exceder a quantidade necessária para a execução da função;
- ✓ Efetuar diversas lavagens com quantidade reduzida de água, em vez de uma única lavagem com grande quantidade de água;
- ✓ Evitar a utilização de água limpa em operações de limpeza das instalações e dos equipamentos;
- ✓ Sempre que possível optar por processos de limpeza a seco;
- ✓ Instalar um sistema de refrigeração nas instalações com a água tratada proveniente das ETARI's.

Como a *Revigrés*, tem um excedente de água que não tem destino, possivelmente daqui a uns anos a empresa vai ter de possuir licença de descarga dos efluentes tratados, visto não ter capacidade de os aproveitar a todos.

Pensa-se que devem ser realizados mais estudos nesta área para responder a certas dúvidas que ainda não puderam ser esclarecidas. No entanto, considera-se que a empresa pode utilizar em maior quantidade a água residual tratada, podendo dar-lhe maior uso. A utilização de maior quantidade de água residual tratada é traduzida não só em benefícios económicos quantificáveis, mas também ambientais e sociais, melhorando a imagem da empresa perante as restantes e tornando-a um exemplo a seguir.

Embora os objetivos pretendidos para este trabalho tenham sido alcançados, existem outros aspetos que podem ser abordados no âmbito da gestão da água, de modo a que o processo de reutilização possa ser ainda mais eficiente. Então, como perspetiva de trabalho futuro é sugerido que seja adotada a metodologia *Water Pinch* que é uma técnica sistemática que permite analisar

os processos de forma a determinar o potencial ou as metas de poupança de água. É utilizada para orientar as decisões de gestão de água e efluentes, ao mesmo tempo que melhora a eficiência dos processos. Esta metodologia está dividida em cinco passos distintos:

1. Análise da rede de água – Esquematizar o sistema de consumo de água;
2. Recolha de dados – Identificar fontes e possíveis fontes de água, assim como as suas características; identificar as correntes dos processos e as suas características;
3. Metas de minimização dos consumos de água – Determinar qual o caudal mínimo de água doce necessário, e consequentemente a minimização de efluentes gerados;
4. Redesenho da rede de água – Alterar o sistema para que seja possível consumir o menor caudal possível (determinado no ponto anterior);
5. Avaliação económica – Verificar se as alterações do projeto fazem com que este seja economicamente viável.

Para concluir, verificou-se que a *Revigrés* consegue utilizar mais água tratada nos seus processos. E, com a implementação das várias medidas propostas e com a adoção da metodologia *Water Pinch*, a reutilização da água será ainda maior, melhorando também a eficiência dos processos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEP - ASSOCIAÇÃO EMPRESARIAL DE PORTUGAL - **Manual de Produção + Limpa da Indústria Cerâmica**. 2011
- AEP - ASSOCIAÇÃO EMPRESARIAL DE PORTUGAL - **Como Calcular a Pegada Hídrica na Indústria**. 2015
- COMISSÃO EUROPEIA - **Prevenção e controlo integrados da poluição: Documento de referência sobre as Melhores Técnicas Disponíveis na Indústria Cerâmica**. 2006
- CONCHINHA, F. - **Ciências Naturais - 5º ano** [Consultado a: 11 nov. 2016]. Disponível em WWW:<URL:<http://cienciasnaturaisquintoano.blogspot.pt/>>.
- CRESPILO, F. [et al] - **Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação**. Quimica Nova. . ISSN 01004042. 27:3 (2004) 387–392. doi: 10.1590/S0100-40422004000300005.
- CROOK, J. - **Critérios de qualidade da água para reuso**. 1993
- CRUZ, R. - **Comportamento reológico de suspensões de misturas de pós cerâmicos**. Universidade Federal de Santa Catarina, 1996
- ESCARDINO, A. [et al] - **Tratamiento de Emisiones Gaseosas, Efluentes Líquidos y Residuos Sólidos de la Industria Cerámica**. Espanha: IMPIVA, 1998
- ESTENDER, C. [et al]. - **Reutilização da água na indústria**. 2015
- FERREIRA, D. - **A Importância Da Água Como Património A Proteger**. 2015
- FOO, Dominic - **What is Water Pinch Analysis?**. [Consultado a: 20 nov. 2016]. Disponível em WWW:<URL:<http://blogs.nottingham.ac.uk/malaysiaknowledgetransfer/2013/10/14/what-is-water-pinch-analysis/>>.
- FUNCERAMICS - **Barbotina** .[Consultado a: 15 mai. 2017]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.funceramics.pt/barbotina/>>.
- GOYAL, M. - **Single Contaminant Based Water Pinch Analysis**. Pune, Maharashtra. 2016
- HESPAHOL, I. [et al]. - **Manual de Conservação e Reuso de Água Para a Indústria**. Rio de Janeiro: Firjan, 2007

MACHADO, A. - **Indústria da água: A água na Terra**. Porto. 1994

MARTINS, G. - **Influência da dureza da água em suspensões de esmalte cerâmico**. Florianópolis : Universidade Federal de Santa Catarina, 2001

**Panambra Zwick** - [Consultado a: 20 mai. 2017]. Disponível em WWW:<URL:www.panambrazwick.com.br/Produto.aspx?CodProd=281>.

**Paraná - Governo do Estado** - [Consultado a: 15 mai. 2017]. Disponível em WWW:<URL:www.quimica.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1155&evento=6>.

PEREIRA, F. - **Influência do processo de preparação nas características reológicas das suspensões cerâmicas**. Florianópolis : Universidade Federal de Santa Catarina, 2001

PANDOLFELLI, V [et al] - **Um modelo para previsão da viscosidade mínima de suspensões cerâmicas**. Cerâmica. 2000

RASTEIROA, M. [et al]. - **Reutilização de Águas Processuais na Preparação de Esmaltes Cerâmicos: Cerâmica Industrial**. 2005

REVIGRÉS – PRODUTORA DE PAVIMENTOS E REVESTIMENTOS CERÂMICOS - **Revigrés – Produtora de pavimentos e revestimentos cerâmicos** .[Consultado a: 12 out. 2016]. Disponível em WWW:<URL:http://www.revigres.pt/>.

SAUTCHÚK, C. [et al]- **Conservação e Reúso de Água**. Cirra - Centro Internacional de Referência em Reúso de Água, 2005.

SILVA, M. [et al] - **A indústria cerâmica e o ambiente**. SIA - Sociedade Inovação Ambiental

UNESCO - Water for People, Water for Life. **The World Water Development Report**. . ISSN 1098-6596. 2003. 36. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

UNICAMP - **Determinação da viscosidade: métodos de Stokes e do Copo Ford**

ZANETTE, T. - **Estudo de tratabilidade do efluente líquido da indústria cerâmica para fins de reuso**. Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2004